

国际信息工程先进技术译丛

WILEY

可重构无线电系统的网络架构和标准

Reconfigurable Radio Systems Network Architectures and Standards

[意] 玛莉亚·斯特拉·雅克布齐（Maria Stella Iacobucci） 著

王玲芳 李永 等译







机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际信息工程先进技术译丛

可重构无线电系统的网络架构和标准

［意］玛莉亚·斯特拉·雅克布齐（Maria Stella Iacobucci） 著

王玲芳 李 永 等译





机 械 工 业 出 版 社

本书内容涵盖可重构无线电系统的最新技术和标准，范围从自组织网络和认知无线电到网络和终端的可重构架构，提供了可重构无线电系统的开发、演进、技术和部署的可能未来场景的基于标准的展望。

本书适合于通信领域的高年级本科生、研究生、工程人员和研究人员阅读，尤其适合研究无线接入系统的专家和学者使用。

图书在版编目（CIP）数据

可重构无线电系统的网络架构和标准/（意）雅克布齐（Iacobucci, M. S.）著；王玲芳等译. —北京：机械工业出版社，2015.5

（国际信息工程先进技术译丛）

书名原文：Reconfigurable radio systems: network architectures and standards

ISBN 978-7-111-49926-8

Ⅰ. ①可…　Ⅱ. ①雅…②王…　Ⅲ. ①无线电通信－通信网－研究　Ⅳ. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 073902 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）

策划编辑：张俊红　责任编辑：吕　潇

责任校对：丁丽丽　封面设计：马精明

责任印制：刘　岚

北京中兴印刷有限公司印刷

2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm · 16.5 印张 · 338 千字

0 001—2 500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-49926-8

定价：79.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
服务咨询热线：010-88361066	机 工 官 网：www.cmpbook.com
读者购书热线：010-68326294	机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
010-88379203	金　书　网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版	教育服务网：www.cmpedu.com

译　者　序

自2008年美国斯坦福大学 Nick McKeown 等发表"OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks"（OpenFlow：在校园网络中支持创新）以来，软件定义网络（Software Defined Network，SDN）便开始风靡全球的研究界和工业界。这场风从校园网吹到骨干网、接入网，吹到有线网络、无线网。于是便出现了软件定义"everything"的概念，几乎和信息技术（IT）有关的都可以加上"软件定义"这个修饰词。这个词蕴含着这样的意思，即硬件都有了，通过对其的编程，就可以使硬件呈现另一种功能，这相当于为硬件配置另一种处理能力。可以这样说，对硬件的软件编程，涵盖有对硬件的程序改变和配置改变两方面。本书即属于后一种情况，对硬件的重新配置。从长远角度看，这是目前看得见而且比较务实的方法。

本书内容涵盖可重构无线电系统的最新技术和标准，范围从自组织网络和认知无线电到网络和终端的可重构架构，提供了可重构无线电系统的开发、演进、技术和部署的可能未来场景的基于标准的展望。第1章给出了主要无线电移动和无线系统的概述，并描述了性能、网络架构和无线电接入技术；第2章介绍了频谱感知认知无线电和在发送器侧与接收器侧的相关特征；第3章介绍自组织网络，并给出了3GPP标准中引入的自组织网络特征；第4章给出"白空间"的概念，并描述了在TV频带中的共存问题，描述了基于认知无线电的第一个标准 IEEE 802.22 的架构，并给出在物理层和 MAC 层的主要特征，介绍了用于相干干扰保护的 IEEE 802.22.1 信标系统；第5章给出可重构无线电系统（RRS）的 ETSI 功能架构（FA）；第6章介绍可重构无线电系统的 IEEE 1900.4 标准；第7章给出了演进过程，并讨论了在本书中描述的系统如何支持动态频谱管理方法。

本书由王玲芳翻译1～3章、统稿和校对，李永负责翻译4～7章，此外，李虹、潘东升、李冬梅、吴秋义、王弟英、吴璟、游庆珍、李传经、王领弟、王建平、李睿、吴昊、王灵芹、张永、李志刚、左会高、申永林、潘贤才、刘敏、李钰琳、王青改、李倩、陈军、许侠林等同志参加了部分的翻译工作，在此表示感谢。同时感谢机械工业出版社，感谢出版社的编辑和相关同志。

不过，需要指出的是，本书的内容仅代表作者个人的观点和见解，并不代表译者及其所在单位的观点。另外，由于翻译时间比较仓促，疏漏错误之处在所难免，敬请读者原谅和指正。

译　者

2015年6月北京

原书前言

在过去10年间，网络演进涉及引入新的接入技术，其中有固定的和无线的接入技术，为所有发起和终结的服务都使用IP骨干网。固定接入网络的演进主要涉及光纤的引入，这种光纤具有点到点或无源光网络（Passive Optical Network，PON）架构。

下一代接入网络（Next Generation Access Network，NGAN）也包括无线电移动和无线接入技术，由于采用了高级的无线电特征，这些技术达到了数百Mbit/s的最大比特率。聚集所有发起和终结服务的不同接入网络都被连接到一个基于IP的骨干网，它提供具有服务质量（Quality of Service，QoS）的传输服务。

无线电接入技术（Radio Access Technology，RAT）经常通过“手工地”配置无线电参数进行管理。最近，为了优化整体无线电接入网络的性能，在多RAT网络中引入了一些通用无线电资源管理（Common Radio Resource Management，CRRM）特征。CRRM的演进以自组织网络（Self-organizing Network，SON）和认知无线电（Cognitive Radio，CR）为接入网络添加了更多的智能。SON是能够自动配置、自管理和自愈的网络。这个概念是由下一代移动网络（Next Generation Mobile Network，NGMN）的业界论坛推动的，而SON特征是3GPP标准自发行版本8开始就被引入的。

全世界正在进行无线电移动频谱的重新规划过程。在不久的将来，无线电移动频率将不再严格地与一项技术相关联，其使用将取决于用户终端、服务概要、流量请求和网络优化。

采用频谱感知认知无线电终端和网络，频谱使用将在不同无线电接入技术间得以优化。在这个语境中，新的场景正在打开不同的自由度：从一个被授权的运营商（在其网络内部使用认知无线电）的案例到增加无线电资源的高效使用，中间通过频谱使用的被授权的运营商间的协作，到非授权的认知无线电终端在一个被授权频率未充分使用的时间和区中进行操作运行的一个场景。认知无线电也为如下场景打通了道路，其中为做到频谱交换，频谱资源可以小时为单位的市场方式被管理。

在2010年12月，FCC为“白空间”的使用打开了绿灯，该空间是TV频带中的空闲频谱。白空间传输依据的是频谱感知和一个地理检测（geo-detecting）数据库系统，来防止TV信号产生干扰。这是认知无线电用途的第一个范例，这意味着基于认知无线电的第一个无线标准IEEE 802.22的部署。全认知无线电，其中可由一个无线节点或网络观察到的每个可能参数，都被考虑在内，在网络侧和终端侧都进行适配和网络优化，向可重构无线电系统（RRS）演进。

从2009年开始，ETSI发布了有关RRS的产品和一系列建议标准。ETSI RRS功能架构提出单一运营商和多运营商场景，具有动态频谱管理、动态自组织网络规划和管理、联合无线电资源管理和配置控制等的新实体。新实体通过标准接口进行双向通信，并与无线电终端中的其对应部分进行通信。在2009年2月，发布了可重构无线电系统的IEEE 1900.4标准。IEEE 1900.4是架构构造块的一个标准，支持在异构无线接入网络中优化的无线电资源使用进行网络-设备分布式决策。

从2009年4月起，IEEE 1900.4工作组开始操作两个项目：1900.4a（IEEE 1900.4的修正，为白空间频带中的动态频率接入网络定义架构和接口）和1900.4.1（在异构无线网络中优化无线电资源使用而进行分布式决策的接口和协议的一个标准）。

IEEE 1900.4标准所提出的架构，在终端侧和网络侧引入了新的实体。在网络侧，新实体是运营商频谱管理器、RAN测量收集器、网络重构管理器和RAN重构控制器。所有的那些构造块，除了运营商频谱管理器外，在终端侧和标准化的接口中都有对应部分。

本书结构如下。

第1章给出主要无线电移动和无线系统（像GSM/GPRS/EDGE、UMTS/HSPA/HSPA+、LTE/LTE高级版、无线局域网、无线城域网和无线个域网）的概述，并描述了性能、网络架构和无线电接入技术。

第2章介绍了频谱感知认知无线电和在发送器侧与接收器侧的相关特征。描述了为避免对主要用户的干扰而在物理层处使用的技术，像在接收器侧的频谱感知和自适应调制，在发送器侧的编码和功率控制。在本章结束处介绍了全认知无线电，这部分内容在本书其他各章做了更广泛的论述。

第3章介绍自组织网络，并给出3GPP标准中引入的自组织网络特征，如LTE接入网络的自建立过程、自优化和自愈等。

第4章给出“白空间”的概念，并描述了在TV频带中的共存问题。描述了基于认知无线的第一个标准IEEE 802.22的架构，并给出在物理层和MAC层的主要特征。本章结尾介绍了用于现用者的干扰保护的IEEE 802.22.1信标系统。

第5章给出可重新配置无线电系统（Reconfigurable Radio System，RRS）的ETSI功能架构（Functional Architecture，FA）。描述了可重新配置无线电基站和可重新配置无线电设备架构及有关用例。在带内和带外可能性方面介绍了认知引导信道的概念（在认知周期内从网络到终端传递必要的信息），并给出有关范例。描述了网络侧和终端侧中功能架构的实体以及有关接口。

第6章介绍可重新配置无线电系统的IEEE 1900.4标准。描述了网络侧和终端侧的IEEE 1900.4实体及有关接口，并给出过程的范例。讲述了IEEE 1900.4a标准以及网络侧和终端侧的各实体和有关接口，该标准介绍了白空间频带中动态频谱接入网络的新实体。

第7章在不试图完备的条件下，给出了演进过程（这涉及从个体许可证规范的频谱排他性使用到动态频谱管理），并讨论了在本书中描述的系统如何支持动态频谱管理方法。

声明

本书是完全在作者的个人时间和使用个人资源的条件下准备的。

作者与意大利 HRS 电信公司的隶属关系仅是用作身份识别用途。

在本书中表述的意见是作者的观点，没有必然地反映作者所在公司或标准化机构的观点。

目　　录

第1章　多无线电接入网络

1.1　引言

过去十年来的网络演进涉及固定网和无线网方面所引入的新的接入技术，针对所有源发服务和终结服务都使用互联网协议（Internet Protocol，IP）骨干网。固定接入网络的演进主要涉及引入光纤，具有点到点或无源光网络（Passive Optical Network，PON）架构。

千兆无源光网络（Gigabit- capable PON，GPON）架构处理法将光纤部署到接入网络中的多个点：

- 光纤到机柜（Fiber to the Cabinet，FTTCab），如果光纤终结在机柜。
- 光纤到楼（Fiber to the Building，FTTB），如果光纤终结在大楼。
- 光纤到户（Fiber to the Home，FTTH），如果光纤终结在客户家庭。

图1.1给出FTTCab、FTTB和FTTH网络架构。这种架构使每用户的下行比特率分别达到50Mbit/s、100Mbit/s和1Gbit/s量级。光网络被称作无源的，是因为光分离器，它再生输入信号。一个光线路终端（Optical Line Terminal，OLT）的外发带宽是在多个光网络单元（Optical Network Unit，ONU）间共享的，而在FTTCab和FTTB架构中，现有铜线缆对用在从ONU到端用户的连接中，具有非常高的数字用户线路（Very High Speed Digital Subscriber Line，VDSL）传输速率。如果光纤到达家庭，则架构就是FTTH，将向用户提供称作网络终端（Network Terminal，NT）的一台光纤调制解调器。

在点到点架构中，存在将端用户连接到中心局的一条光纤，这完全地替代了铜线缆对。在这种情形中，一条光纤专用于一名用户，因此所提供的带宽可以是非常高的，甚至达到数十Gbit/s。图1.2给出接入网络中点到点光纤架构的一个例子。

比GPON处理多得多光纤数的点到点架构，在中心局要求更大空间，并吸收多得多的能源。因为这点，多数运营商为固定接入网络演进选择了GPON架构。

下一代接入网络（Next Generation Access Network，NGAN）也包括无线电移动和无线接入技术，多亏采用了高级无线电特征，它达到数百Mbit/s的最大比特率。在无线电移动技术中，全球移动通信（Global System for Mobile Communication，GSM）及其在数据传输方面的演进（通用分组无线电服务（General Packet Radio Service，GPRS）和GSM演进的增强数据速率（Enhanced Data Rate for GSM Evolution，EDGE））已经大量部署在世界各地。第三代无线电移动系统，通用移动电信

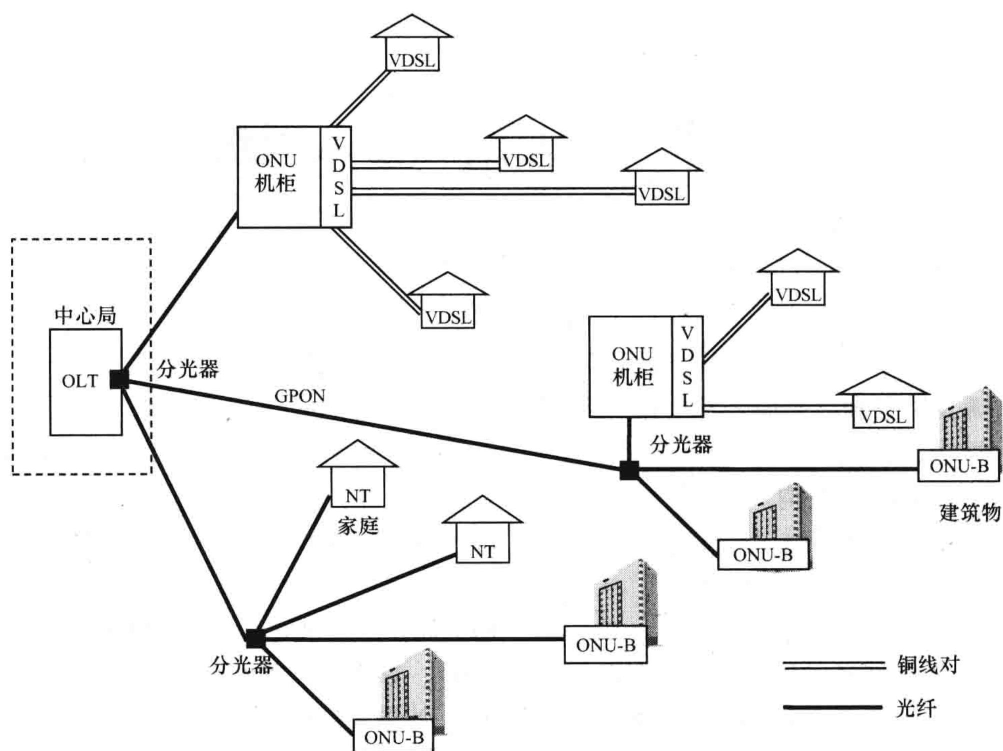


图 1.1　FTTCab、FTTB 和 FTTH 固定接入网络架构

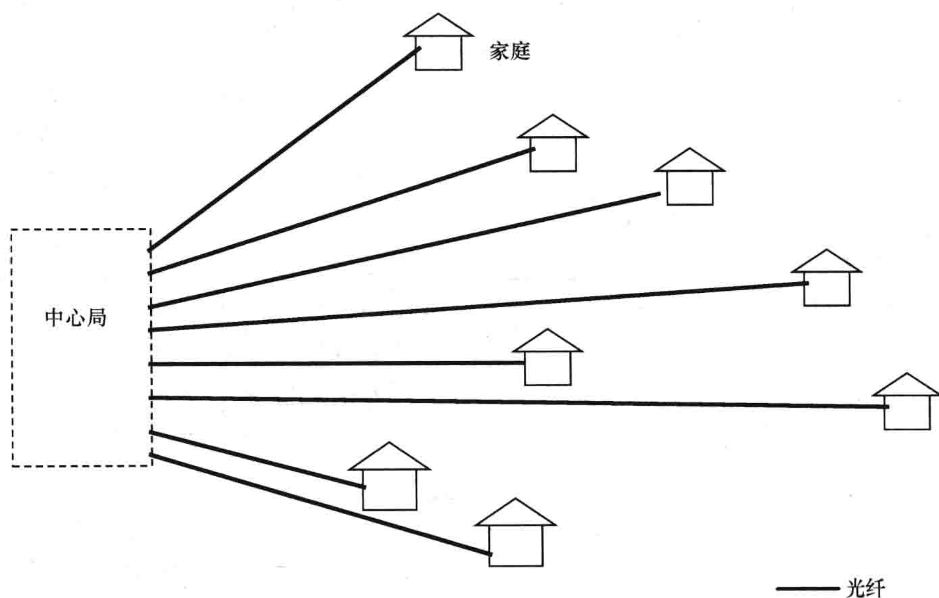


图 1.2　接入网络中的点到点光纤架构

系统（Universal Mobile Telecommunications System，UMTS）及其演进（用于高比特率数据传输的 HSPA（高速报文接入）和 HSPA +）已经部署，目标覆盖范围是高流量区域，像主要城市和二级城市（major and minor cities）。长期演进（Long Term Evolution，LTE）方案正在许多国家运行，并将部署在其他国家。无线局域网（Wireless Local Area Network，WLAN）和 WiMAX（见 1.3.2 节）是大部分用于数据但也用于话音传输的其他现有技术。

汇集所有源发服务和终结服务的不同接入网络，被连接到一个基于 IP 的骨干网，提供带有服务质量（Quality of Service，QoS）的一项传输服务。图 1.3 给出有一个核心网和多个接入网的网络。

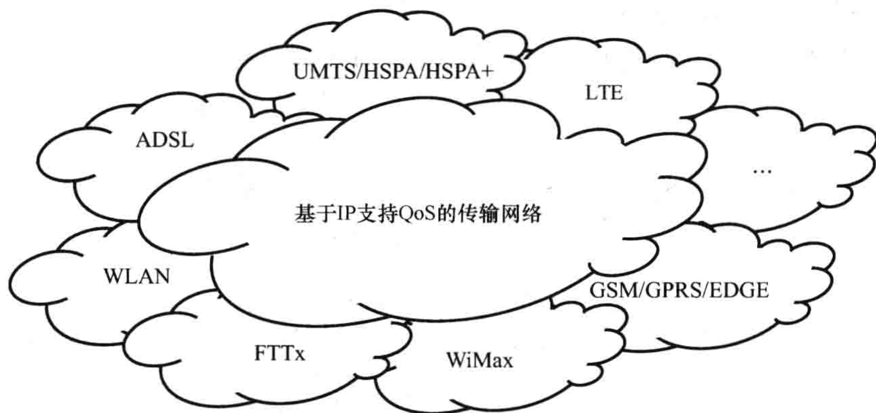


图 1.3　多个接入网和一个核心网

1.2　无线电移动网络

无线电移动网络被标准化，目标是将固定网络提供的服务扩展到移动用户，采取一台无线终端的方式，该设备具有在连接时移动的能力。

第一代系统，像全接入通信系统（Total Access Communication System，TACS），仅提供话音服务，它使用频分多址（Frequency Division Multiple Access，FDMA）在无线电接口上进行传输。数字 GSM 系统[1]，最初是针对话音服务标准化的，与其 GPRS 和 EDGE 演进方案一起，在接入网中添加新特征并在核心网中添加新节点，目的是优化数据传输。

第三代系统 UMTS，是针对多媒体标准化的，包括在其演进方案 HSPA 和HSPA + 之中，能够达到更高的比特率并减少延迟。最后，LTE 在下行链路达到数百 Mbit/s 的速率和更低的延迟时间。LTE 的高级版本（LTE 高级版）承诺 Gbit/s 的速率。

在本节，就网络架构、接入网络和无线电接口方面，描述了第二代、第三代和第四代无线电移动网络。

1.2.1 GSM/GPRS/EDGE 网络架构

图 1.4 给出 GSM 网络架构。第一个网元是移动站（Mobile Station，MS），这包括移动终端和用户身份模块（Subscriber Identity Module，SIM）。其主要功能是无线电接口之上的发送和接收、无线电信道监管、蜂窝选择、下行无线电参数测量以及接入、认证和切换过程的执行。MS 通过一个标准化的无线电接口与基站发送接收站（Base Transceiver Station，BTS）通信，BTS 是这样的网络节点，它实现一个或多个无线电覆盖蜂窝、测量上行无线电参数、广播系统信息执行像寻呼等的过程。每个 BTS 通过 Abis 接口与基站控制器（Base Station Controller，BSC）通信，BSC 控制 BTS 无线电资源。它将无线电信道指派和释放到移动用户，接收上行链路和下行链路测量，实施 BSC 内切换，处理功率控制，解决蜂窝拥塞等。

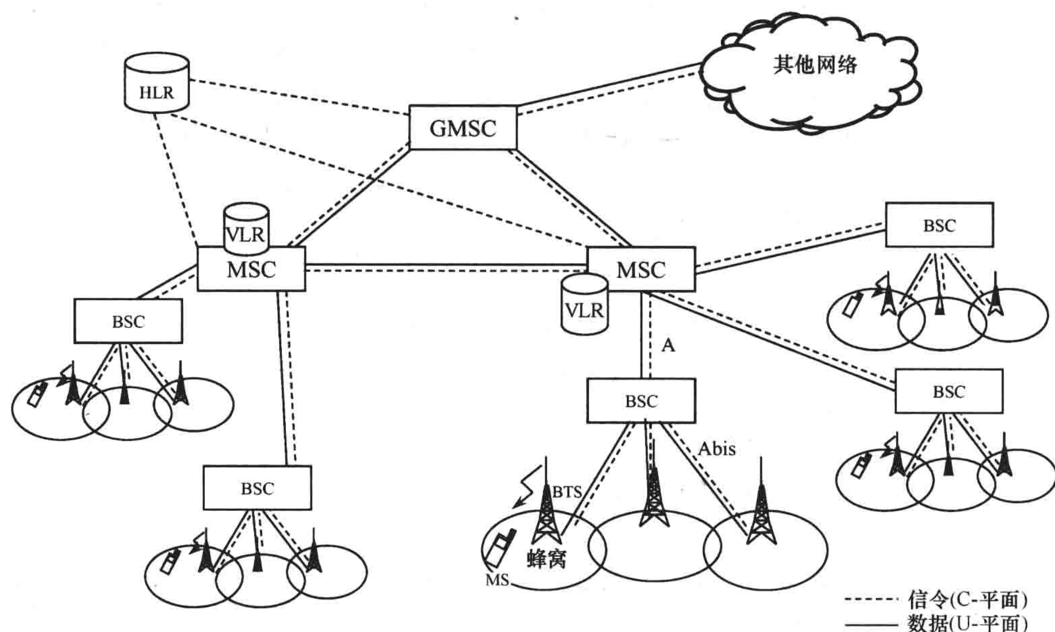


图 1.4 GSM 网络架构

因为 Abis 接口没有标准化，所以 BTS 和所连接的 BSC 必须来自同一厂商。BSC 与其连接的各 BTS 形成一个基站子系统（BSS），并表示 GSM 接入网节点。各 BSS 被连接到核心网络，核心网络包括像移动交换中心（Mobile Swithing Centre，MSC）的交换节点和像拜访位置寄存器（Visitor Location Register，VLR）和归属位置寄存器（Home Location Register，HLR）的数据库。各 BSC 通过标准 A 接口连接到 MSC。

一个 MSC 的主要功能有：呼叫处理、移动性处理（通过与 VLR 和 HLR 的网络互联）、寻呼、MSC 内切换、MSC 间切换、话费单据生成。与 MSC 关联的是

VLR，它是为注册在 MSC/VLR 区域中每名用户包含一条记录的一个数据库。一些 MSC 是网关（GMSC），因为它们被连接到其他移动运营商网络和固定网络，目的是处理所有的移动-移动、移动-固定和固定-移动呼叫。

HLR 是一个寄存器（库），它为移动网络的每名用户存储服务概要、认证和加密用的密钥、国际移动用户身份（IMSI）和移动站 ISDN（MSISDN）以及该用户所注册的 VLR 的一个标识符。当一台 MS 注册到网络时，VLR 以从 HLR 下载的用户概要和以位置区域（Location Area，LA）表示的 MS 位置来创建一条新记录。在 HLR 中，更新实际的 VLR 的标识符。VLR 也指派临时的 IMSI（TMSI），它临时地替换 IMSI。

LA 是包括一定数量蜂窝的一个逻辑概念。从各 BTS 在属于 LA 的所有蜂窝中广播位置区域标识符（LAI）。当一台 MS 从一个 LA 移动到另一个 LA 时，它实施 LA 更新过程。如果新 LA 属于一个新的 MSC，那么新的 VLR 从 HLR 下载用户概要，并以其 LA 注册新用户。HLR 更新 VLR 标识符，并指令老的 VLR 删除该用户的记录。

其核心基于电路交换节点 MSC 的一个 GSM 网络是非常适合话音的，但它不适合数据。GSM 数据传输是可能的，但以 9.6kbit/s 的固定比特率进行传输，并使用针对所有呼叫时长的一个话音等价信道。计费是基于呼叫时长而不是基于所交换的数据量。

GPRS 是 GSM 用于数据传输的演进方案。为增强数据传输速度和优化资源分配，它在接入网络节点中引入新的功能特征。特别地，GPRS 在 BTS 中需要新的编码器，在 BSC 中需要一个新的模块即分组控制单元（Packet Control Unit，PCU）。PCU 为数据传输实现无线电资源管理（Radio Resource Management，RRM）算法。GPRS 也引入新的核心网络节点：服务 GPRS 支持节点（SGSN）和网关 GPRS 支持节点（GGSN）。

SGSN 负责在其服务区内进出移动站的数据报文的交付。其任务包括报文路由和传递、移动性管理（连接/去连接和位置管理）、逻辑链路管理、认证和计费功能。SGSN 的位置寄存器存储注册到这个 SGSN 的所有 GPRS 用户的报文数据报文中使用的位置信息和用户概要。

GGSN 是与其他报文数据网络有连接的节点。它包含用于被连接 GPRS 用户的路由信息。路由信息被用来将报文数据单元（PDU）以隧道方式传输到 MS 的当前连接点，即 SGSN。

BSC 通过标准 Gb 接口连接到 SGSN；SGSN 和 GGSN 之间的连接是 Gn 接口；SGSN 和 GGSN 分别通过 Gr 和 Gc 接口连接到 HLR；SGSN 和 MSC/VLR 通过 Gs 接口可相互看到。Gs 和 Gc 接口不是必要的。如果存在 Gs，就创建 MSC/VLR 和 GGSN 之间的关联，且可能联合地处理有报文交换和电路交换服务的一台移动站。为降低无线电接口上的信令，引入 Gs。事实上，则可能实施如下过程，像通过 SGSN注册（IMSI 连接）、组合的 LA 和路由区（RA）更新、IMSI 去连接等。RA 是 GPRS 域中 LA 的等价物；一般而言，一个 LA 包含整数个 RA。

一条 GPRS 数据传输达到大约 50kbit/s 的最大下载比特率。EDGE，也称作增强的 GPRS（EGPRS），是 GPRS 的一种演进方案，支持高达约 240kbit/s 的下载比特率。EDGE 将新的无线电功能特征添加到 GSM/GPRS 接入网络节点，并重用 GPRS 核心网络节点：SGSN 和 GGSN。特别地，为管理较高的比特率数据连接，在 BTS 中添加新的调制器和编码器，在 PCU 中添加新软件。

图 1.5 给出 GSM/GPRS/EDGE 网络架构。在 GSM 和 GPRS 间共享接入网络及其 BSC 和 BTS。基于 MSC 的核心网传输话音服务，基于 SGSN/GGSN 的核心网传输数据服务。

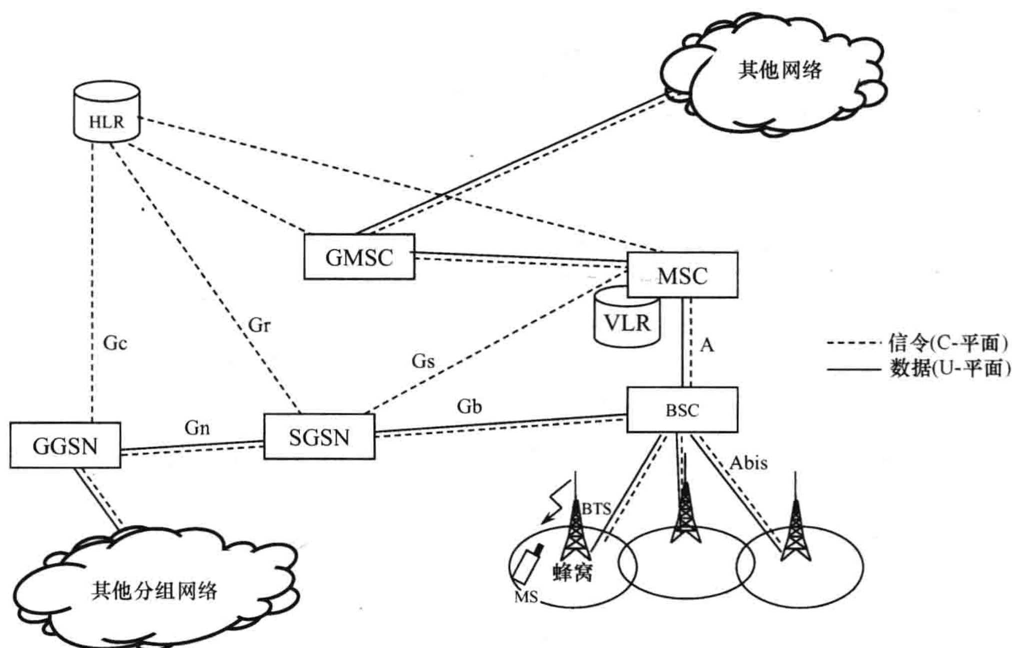


图 1.5 GSM/GPRS/EDGE 网络架构

1.2.2 GSM/GPRS/EDGE 接入网络

GSM/GPRS/EDGE 接入网络，也称作 GERAN（GSM EDGE 无线电接入网络），包括 MS、BTS、BSC 以及有关的接口。无线电接口基于频分复用（FDD）和 FDMA/TDMA（时分多址）。表 1.1 给出世界不同国家的 GSM/GPRS/EDGE 工作频率。

在欧洲、非洲、中东和亚洲，多数提供商使用 900MHz 和 1800MHz 频带。在北美，GSM 运行在 850MHz 和 1900MHz 频带上。850MHz 和 1900MHz 的 GSM 也用在南美和中美的许多国家。

在世界各地，正在进行无线电移动频谱的重新规划（refarming）过程，这是用于移动服务的频率的重新分配。例如，用于 GSM 的 900MHz 频带现在也可用于第三代（UMTS）业务。GSM 中的 FDMA 打算将所指派的频谱分割成间隔 200kHz（原文为 200MHz，是错误的——译者注）的载波。图 1.6 给出将 GSM 900 频带分

割成 200kHz 的载波。

表 1.1　世界不同国家的 GSM 工作频率

频　　带	上行链路/MHz	下行链路/MHz
GSM 900	880 ~ 915	925 ~ 960
GSM 1800	1710 ~ 1785	1805 ~ 1880
PCS（个人通信业务）1900	1850 ~ 1910	1930 ~ 1990
蜂窝 850	824 ~ 849	869 ~ 894

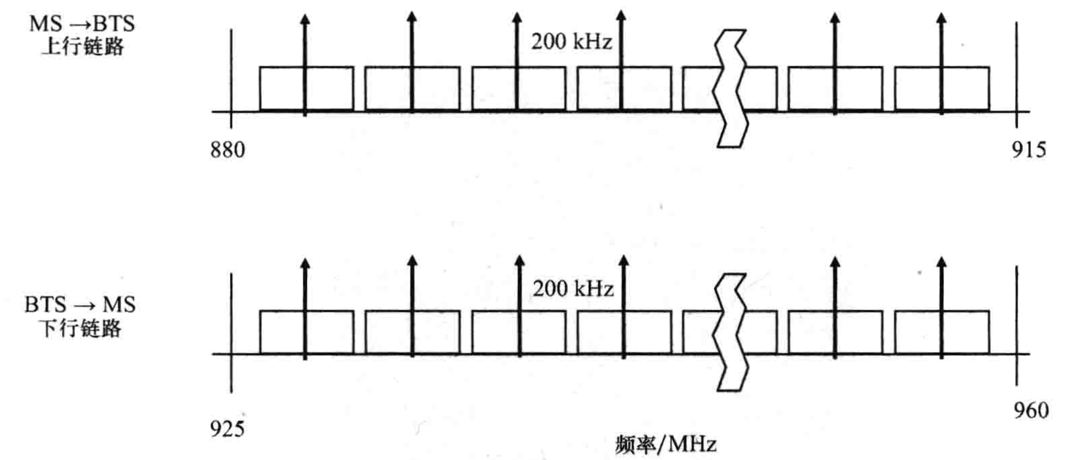


图 1.6　将 GSM 900 频带分割成 200kHz 的载波

GSM 频率规划理论引入聚集（cluster）的概念，这是使用所有可用载波的一个蜂窝群。蜂窝覆盖基于聚集的重复使用。图 1.7 给出带有聚集和相对理论频率规划的一个例子。

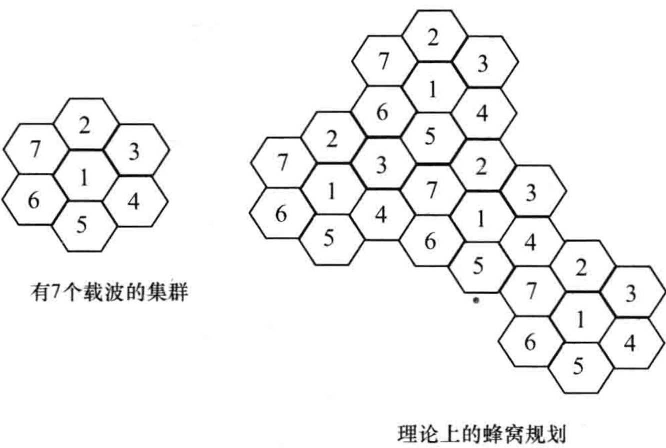


图 1.7　带有聚集可重复使用的理论频率规划范例

如经常发生的情况，事实是远远偏离理论的。蜂窝规划的目标是保障无线电资

源的可用性，它为在一个目标区域中提供一个服务集合满足 QoS。一般而言，每个蜂窝的形式和维度是不同的，且在每个蜂窝中，取决于覆盖范围、容量和性能，要切换一个或多个载波。当 GSM 900 和 GSM 1800 共存时，为覆盖使用一项重叠/叠放（underlay）技术。叠放覆盖一般在 900MHz，并相比工作在 1800MHz 的重叠技术覆盖较大的区域。重叠蜂窝和叠放蜂窝共享站点、天线系统和控制信道。

在不同大小的蜂窝间，取决于尺寸，有宏蜂窝、微蜂窝和微微蜂窝。微蜂窝和微微蜂窝用来解决小型区域中的流量峰值。图 1.8 给出宏覆盖和微覆盖的一个例子。

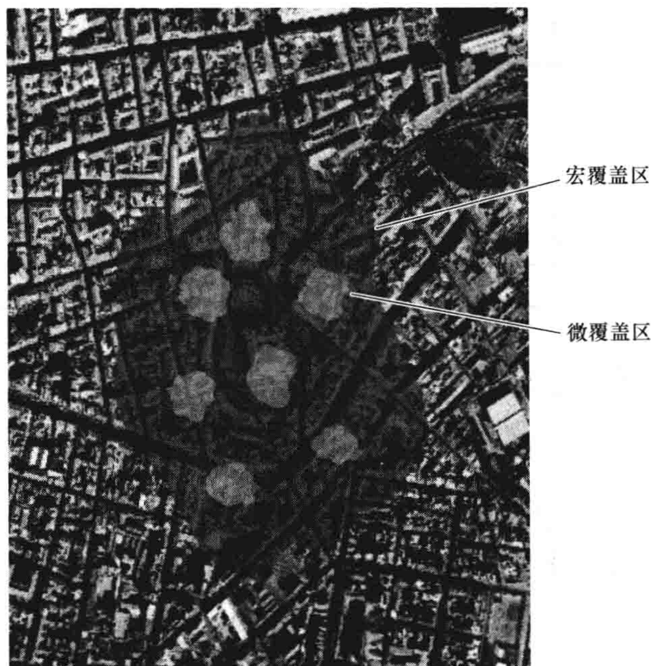


图 1.8　宏覆盖和微覆盖的例子

GSM 多址是 FDMA/TDMA，且基于每载波 8 个时槽的一个帧结构，如图 1.9 所示。帧时长是 4.6ms；槽时长是 577μs；信号突发包含在一个时槽中，并持续 546μs。

发送和接收帧偏移 3 个时槽。这使移动站接收器在上行链路发送，转换到下行链路频率，接收下行链路信号，并在其他无线电信道上进行测量。这个过程如图 1.10 所示。

GSM 帧被归组形成多帧、超帧和 iperframe。这个时间结构支持为操作运行和网络同步建立一个时间调度。特别地，一个多帧可由 26 个或 51 个帧形成；一个超帧持续 6.12s，并由 51 个由 26 个帧组成的多帧组成或 26 个由 51 个帧组成的多帧组成；一个 iperframe 由 2048 个超帧组成，且持续 3 小时 28 分 53 秒 760 毫秒。

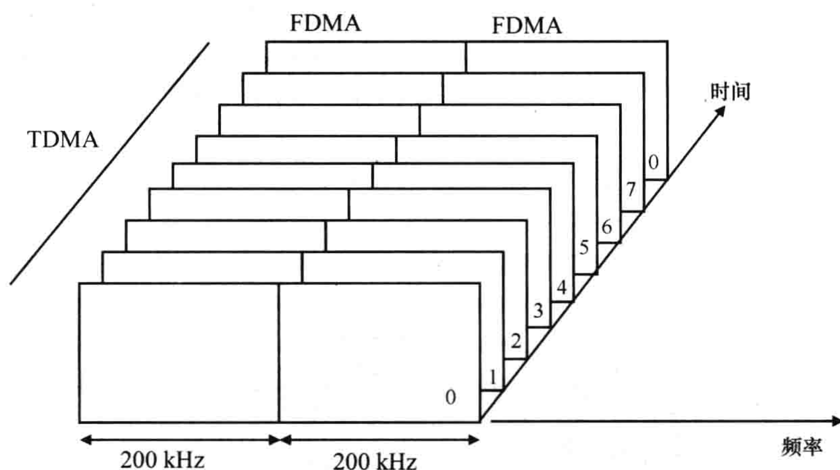


图 1.9　GSM 中的 FDMA/TDMA 多址

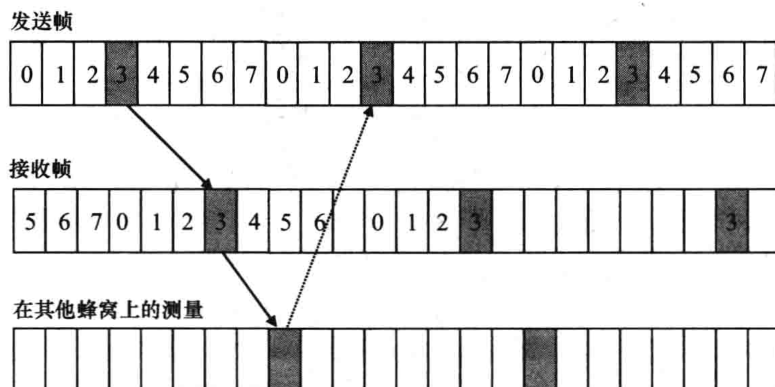


图 1.10　GSM 发送和接收

GSM 访问包括（作为一个选项功能）跳频（FH）。GSM 中跳频的目标是得到频率中的一种固有多样性，这可保护发送免受像无线电信道快速振荡或共道干扰等效应的影响。在 GSM 中总共存在 63 个不同的跳频算法。

当 BTS 命令 MS 切换到跳频模式时，它也指派一个频道列表和跳频序列号（HSN），HSN 对应于将被使用的特定跳频算法。图 1.11 给出跳频原理。

1.2.2.1　GSM 物理信道和逻辑信道

GSM 接入网络中的一条物理信道由帧中的时槽、帧号、一个 FH 序列（如果 FH 是活跃的）中加以识别。一条逻辑信道专用于特定信息的发送，其中使用合适物理资源上的一个映射。逻辑信道分成流量信道（TCH）（携带话音和数据）和控制信道（携带控制信息）。

GSM TCH 有

- TCH/FS：全速率（FR）话音。

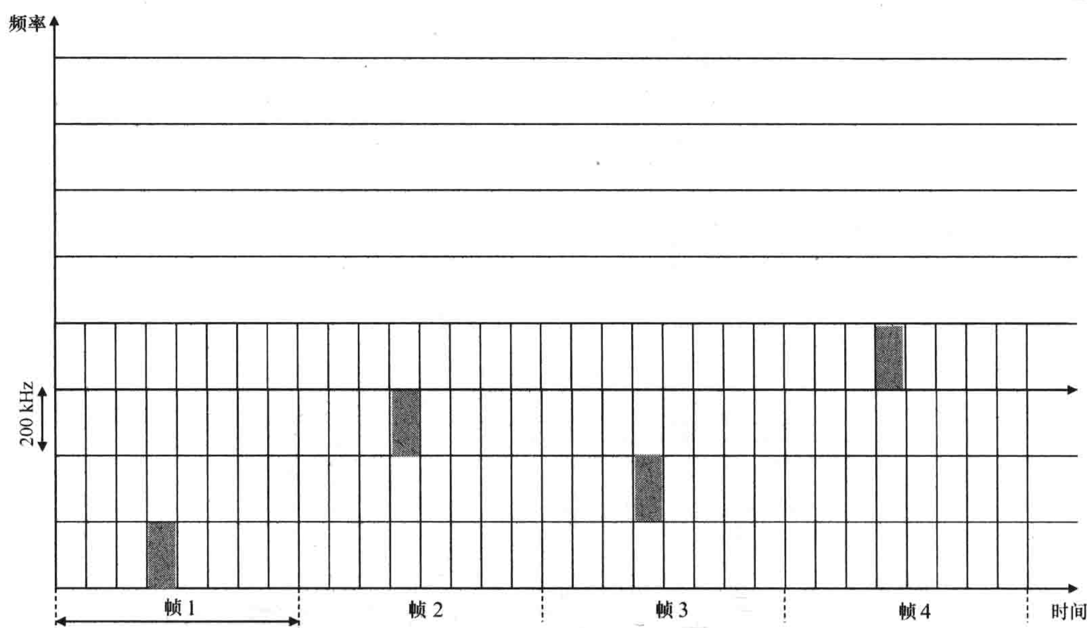


图 1.11　跳频原理

- TCH/HS：半速率（HR）话音。
- TCH/F9.6：在 9.6kbit/s 下的数据（FR）。
- TCH/F4.8：在 4.8kbit/s 下的数据（FR）。
- TCH/F2.4：在 2.4kbit/s 下的数据（FR）。
- TCH/F1.2：在 1.2kbit/s 下的数据（FR）。

也定义了在 4.8kbit/s 和 2.4kbit/s 下的半速率数据信道。

全速率流量信道每个帧使用一个时槽；半速率信道每两个帧使用一个时槽，占一半容量。一个全速率信道的总比特率是 22.8kbit/s；一个半速率信道的总比特率是 11.4kbit/s。

CCH 被分成广播信道（BCH）（携带广播信息）、公共控制信道（CCCH）（携带公共信令信息）和专用控制信道（DCCH）（携带专用于一名用户的信令信息）。

图 1.12 给出控制和流量信道映射。

在下行链路中，BCH 是

- FCCH：频率纠正信道，携带一个频率参考信号。
- SCH：同步信道，携带一个帧同步参考信号和一个基站身份码（BSIC）。
- BCCH：广播控制信道，携带一个蜂窝全局身份（CGI）、位置区身份（LAI）、跳频算法、邻接蜂窝之控制信道的参考（信号）和其他蜂窝参数。

CCCH 是

- PCH：寻呼信道，其中在下行链路发送，搜索一台 MS（它有一个到达呼

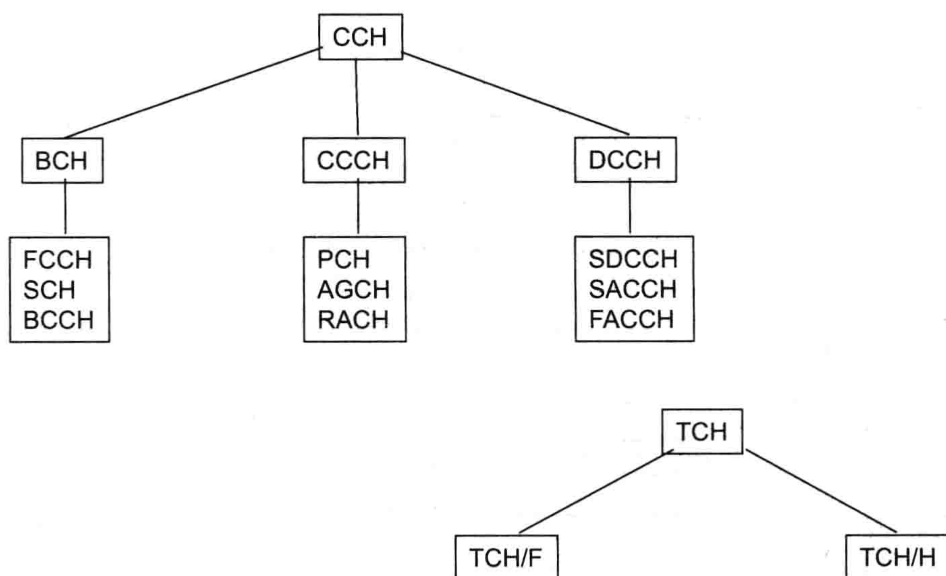


图 1.12　GSM 逻辑信道映射

叫)，且寻呼是在属于该 MS 位置区的所有蜂窝上广播的。

- AGCH：访问授权信道，其中使用下行链路，将一个空闲的专用控制信道（SDCCH）分配给 MS。
- RACH：随机访问信道，其中上行链路携带用户访问信息，并由 MS 使用来请求一次 SDCCH 分配。

DCCH 是

- SDCCH：空闲专用控制信道，是双向的，并用来执行信令过程，诸如位置区域更新、TMSI 分配、连接和去连接，且占据一个时槽的 1/8。
- SACCH：空闲的辅助控制信道，是双向的，并携带与一条活跃连接有关的控制信息，这些信息如上行链路中的测量报告以及下行链路中的功率控制和时间推进。
- FACCH：快速的辅助控制信道，是双向的，并通过将流量替换为信令（帧窃用）而使用一个 TCH，一般而言携带切换信息。

图 1.13、图 1.14 和图 1.15 给出在位置区域更新、移动发起和移动终结的呼叫过程中无线电接口之上逻辑信道用法的例子。

1.2.2.2　GSM/GPRS 调制

GSM 和 GPRS 调制技术是高斯最小平移键控（GMSK）；它是带有一个预调制高斯滤波器的一个最小平移键控（MSK）。

GMSK 被选作频谱效率、实现复杂度和偶发辐射的较低发射（具有低的邻信道干扰）之间的一种折衷方案。相比 MSK，GMSK 提高了频谱效率，原因是功率谱密度（PSD）给出相比于 MSK 的一个降低的主瓣。调制率是 270 × (5/6) kbauds。

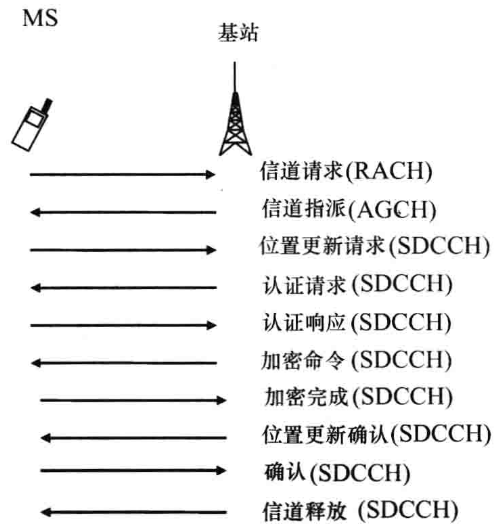


图 1.13　在无线电接口之上位置区域更新

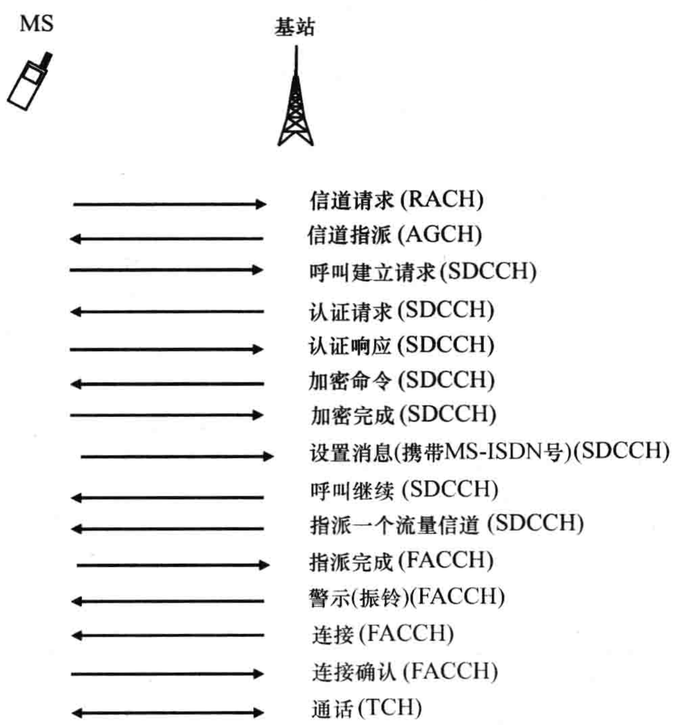


图 1.14　在无线电接口之上移动发起的呼叫过程

1.2.2.3　GPRS 无线电接口

GPRS 是针对数据发送的 GSM 演进方案[2]。这意味着在核心网络中引入新的网络节点、在接入网络中引入新的功能特征，以便针对数据发送来增加最大比特率

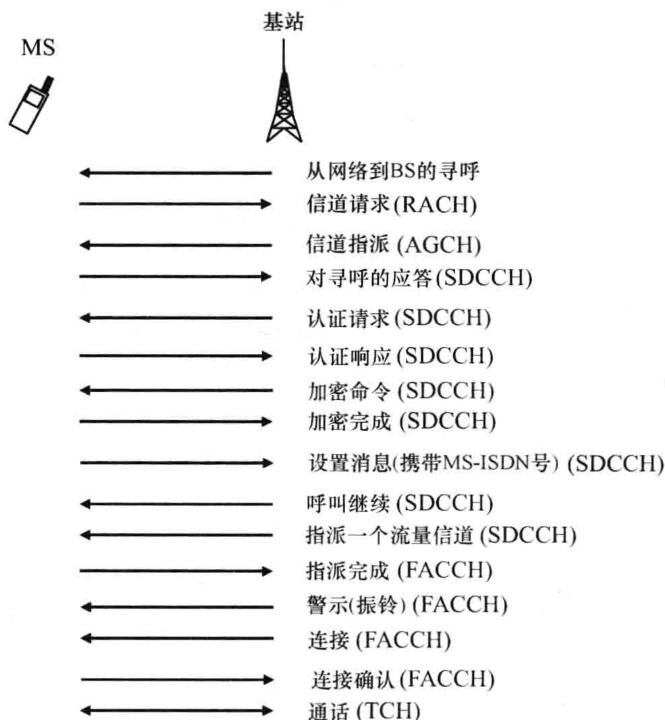


图 1.15　在无线电接口之上移动终结的呼叫过程

和优化无线电资源的利用率。物理信道不是永久地分配给一条 GPRS 连接的，而是仅当数据必须在无线电接口之上发送时才进行分配。

GPRS 与 GSM 共享无线电资源，并引入如下可能性：

- 一个 TDMA 帧的一个以上时槽可被分配给一台 MS。
- 在同一时槽上可复用一个以上的 MS。
- 无线电资源可独立地指派给上行链路和下行链路（非对称发送和接收）。
- 在不同时间 GSM 和 GPRS 可使用同一时槽。
- GSM 有比 GPRS 高的优先级。
- 可丢弃 GPRS 指派的资源。

在 GPRS 中，引入了带有不同编码速率的 4 种编码方案（CS）。编码速率越高，每时槽的净比特率就越高。另一方面，为取得相同的误比特率（BER），对于较高的编码速率，在接收侧要求较高的信噪比（SNR）。表 1.2 给出在无线电链路控制（RLC）层具有相应的每时槽净比特率的各编码方案。

一个全双工 MS 可每帧至多使用 8 个槽，但多数 GPRS 终端是半双工的。一台半双工终端不能同时发送和接收。一台终端在一个帧中可使用的最大时槽数是 5。

表 1.2 GPRS 编码方案

编码方案（CS）	编码速率	每个时槽的 RLC 比特率/(kbit/s)
CS1	1/2	8
CS2	~2/3	12
CS3	~3/4	14.4
CS4	1	20

图 1.16 给出一台单双工终端在下行链路使用 4 个槽、在上行链路使用 1 个槽（4+1）例子。该图给出在下行链路 4 个槽中的接收时间（Rx）、切换到发送帧所需要的时间（Tt）、在上行链路中 1 个槽中的发送时间（Tx）、邻接蜂窝测量时间（Tra）和最后两个槽。

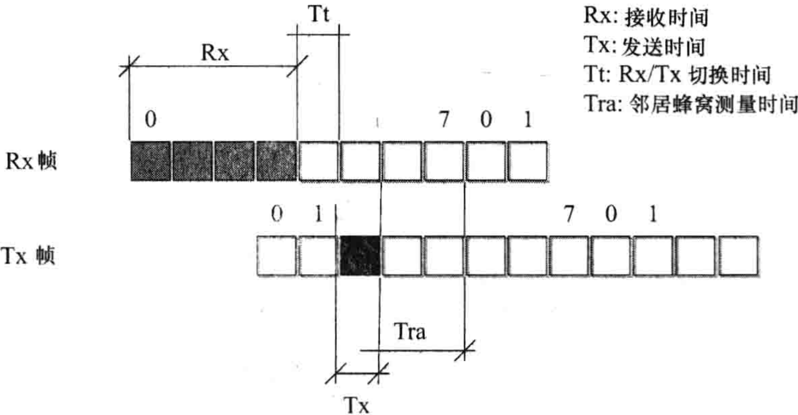


图 1.16 一次 GPRS 非对称发送的例子（4+1）

标准定义了 GPRS 逻辑信道，也称作报文数据逻辑信道（PDCH）。

它们是

- 报文公共控制信道（PCCCH）：

——报文随机访问信道（PRACH）：用于随机访问（上行链路）。

——报文寻呼信道（PPCH）：用于寻呼（下行链路）。

——报文访问授权信道（PAGCH）：用于访问授权（下行链路）。

——报文通知信道（PNCH）：用于点到多点组播（PTM-M）通知（下行链路）。

- 报文广播控制信道（PBCCH）：用于将系统信息广播到 GPRS 移动站（下行链路）。

- 报文流量信道（PTCH）：

——报文专用流量信道（PDTCH）：双向的，携带报文数据流量。

- 报文专用控制信道（PDCCH）：

——报文辅助控制信道（PACCH）：双向的，携带对一条数据连接的辅助控制。

——报文时间推进控制信道（PTCCH）：双向的，在下行链路中携带访问突发，支持网络计算时间推进值，之后在一条下行链路的相同信道之上发送的时间推进值，该值对应于一个信号从移动站发送到 BTS 所花费的时间。

一个运营商可选择不为 GPRS 控制信道预留专用资源。在这种情形中，在无线电接口之上没有配置报文控制信道，且 GPRS 服务与 GSM 共享控制信道：一台 GPRS 移动站在广播控制信道（BCCH）上接收特定的 GPRS 系统信息。

在配置控制信道的情形中，一台 GPRS 移动站监测 PBCCH，其中除了与电路交换服务有关的一些信息外，发送特定的 GPRS 系统信息。如果发生那种情况，则不要求一台 GPRS 移动站监测 BCCH。

1.2.2.4　EDGE 无线电接口

EDGE 是 GPRS 的一种演进方案，特别在无线电接口方面进行了演进扩展。它也称作增强的 GPRS（EGPRS）方案。主要目标是通过改进的频谱效率增加数据速率。

在 EDGE 中引入的主要特征是：

- 除了 GMSK 调制器外，有 8 个相移键控（8PSK）调制器。
- 新的调制和编码方案（MCS）。
- 链路适配：就无线电信道的质量方面，改变调制和编码方案（MCS）。
- 混合自动重复请求（HARQ）：组合了两种技术，即将 FEC（前向纠正编码）与 ARQ（自动重复请求）组合在一起使用。

表 1.3 给出有关 RLC 每时槽数据速率的 9 种 EDGE 调制和编码方案（MCS）。每时槽的数据速率越高，则在接收方侧要求的 SNR 就越高。

每用户的最大下行链路比特率约为 240kbit/s，是考虑采用 MCS9 编码的四个被指派时槽后得到的。每个 MCS 属于一个类（A、B、C）。如果对于同一条报文的重发，信道条件降质且调制和编码方案在同一类内，则链路适配发生变化。图 1.17 给出链路适配的一个定性范例。在例子中，数据发送以 MCS6 开始。如果接收到的 SNR 降低，则阻塞错误速率（BLER）增加，而且调制和编码方案切换到 MCS3，代价是吞吐量（降低）。

EDGE 网络架构与 GPRS 的相同，SGSN 和 GGSN 节点用于数据传输，相同的接入网络节点具有一些增加的功能特征，像在 BTS 中的新 8PSK 调制器和编码器，以及 BSC 中的新协议，由之控制 EDGE 发送。

表 1.3 EDGE 调制和编码方案

MCS	族	调制	编码速率	每时槽的 RLC 数据速率/(kbit/s)
MCS9	A	8PSK（3bit/调制符号）	1/2	59.2
MCS8	A		~2/3	54.4
MCS7	B		~3/4	44.8
MCS6	A		1	29.6
MCS5	B		1/2	22.4
MCS4	C	GMSK（1bit/调制符号）	~2/3	17.6
MCS3	C		~3/4	14.8
MCS2	A		1	11.2
MCS1	C		1	8.8

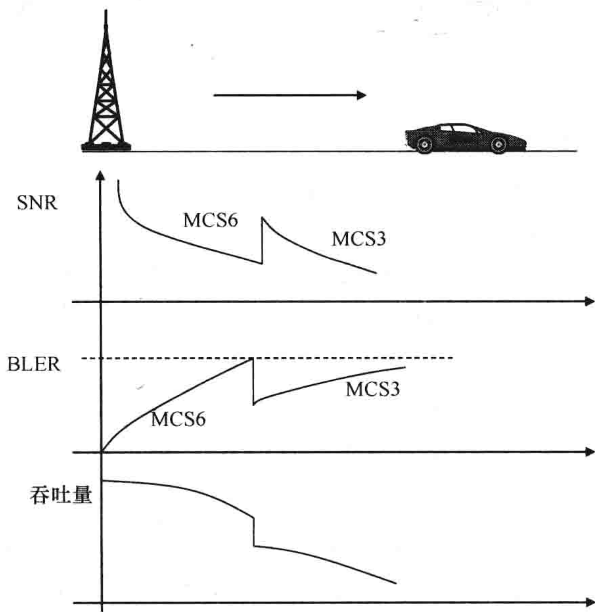


图 1.17 链路适配的定性例子

1.2.3 UMTS/HSPA/HSPA+网络架构

在 1995 年，欧洲电信标准组织（ETSI）开始研究 UMTS 第三代系统[3,4]。1997 年在参考文献［5］中如下定义了 UMTS：

UMTS 将是一种移动通信系统，可提供显著的用户优势，包括向固定、蜂窝和卫星等组成的一个融合网络提供高质量无线多媒体服务。它将直接向用户交付信息，并为用户提供到新的和创新服务及应用的访问。不管位置、网络和所用终端为

何，UMTS 将向大众市场提供移动个性化的通信。

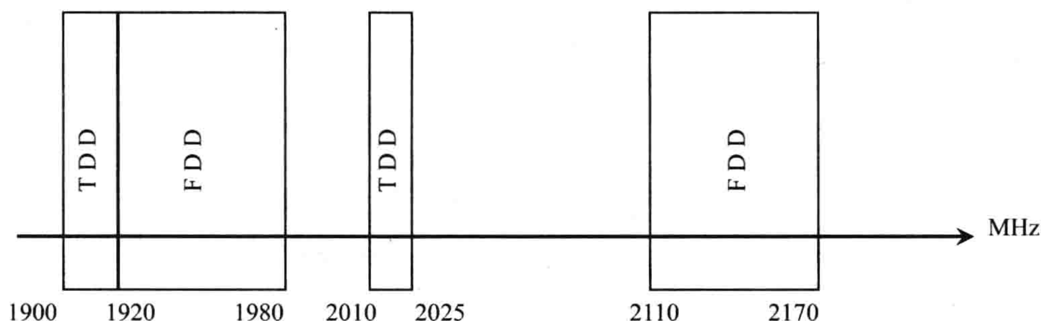
GSM 是针对话音构建的，与此相反，UMTS 是针对“多媒体服务”和“个性化通信”构建的。

在 1998 年 1 月，确定下来无线电接口的选择：

- 在成对频带（FDD 模式）中的宽带 CDMA（码分多址）。
- 在非成对频带（TDD 模式）中的 TD-CDMA（时分 CDMA）。

1998 年欧洲、日本、韩国和美国的标准化组织建立了 3GPP（第三代伙伴计划），现在总共有 6 个组织机构型的伙伴（日本 ARIB、美国 ATIS、中国 CCSA、欧洲 ETSI、韩国 TTA 和日本 TCC）和许多市场代表型的伙伴。3GPP 原始使命是基于新的接入网络和从 GSM/GPRS/EDGE 核心网络演进而来的一个核心网络，为 UMTS 第三代移动系统开发规范。

1997 年在日内瓦举办的世界无线电通信会议上，为 3G 系统分配确定了频带 1885～2025MHz 和 2110～2200MHz。在欧洲，215MHz 已经指派给 UMTS，如图 1.18 所示。在欧洲，仅可使用 UMTS FDD 频带。



FDD 频分双工
TDD 时分双工

图 1.18　欧洲为 UMTS 设计使用的频带

因为最初确定的频带已经用在世界的各地区，所以为 3G 系统添加了一些其他频带，以满足各国家的需要。2100MHz 左右的频带用在欧洲、中国、韩国、日本、澳大利亚、印度和拉美；在北美，UMTS 工作在 1900MHz 和 850MHz；在日本，除 2100MHz 外，也使用在 1700MHz 和 800MHz 的频带。为指派给移动服务的频率提供重新安排的重新规划，也为 UMTS 的实际 GSM 频带打开了一种可能的用法。

图 1.19 给出从 R99 到 R11 带有其主要特点的 3GPP 发行版本。它给出 3GPP 标准化的 UMTS、其演进方案 HSPA/HSPA +、LTE 和 LTE 先进版本。

图 1.20 给出在 3GPP 标准的发行版 99（R99）中标准化的 UMTS 网络架构。UMTS 网络可被分成称为 UMTS 陆地无线电接入网络（UMTS Terrestrial Radio Ac-

cess Network，UTRAN）的一个接入网络和一个核心网络。UMTS R99 引入基于码分多址（Code Division Multiple Access，CDMA）无线电技术的一个无线电接入网络。

移动站（MS）通过一个标准化的无线电接口与节点 B 通信，节点 B 是等价于 GSM 中 BTS 的一个节点。节点 B 处理一个以上的蜂窝，在上行链路上进行测量，广播蜂窝参数，并执行像寻呼和内环功率控制等的过程。通过 Iub 接口，将每个节点 B 连接到无线电网络控制器（RNC），RNC 将无线电信道指派和释放到移动用户，接收上行链路和下行链路测量，实施切换过程，处理外环功率控制等。Iub 接口是不标准的，因此节点 B 和所连接的 RNC 都必须来自相同厂商。RNC 与其所连接的节点 B 形成一个无线电网络系统（RNS）。

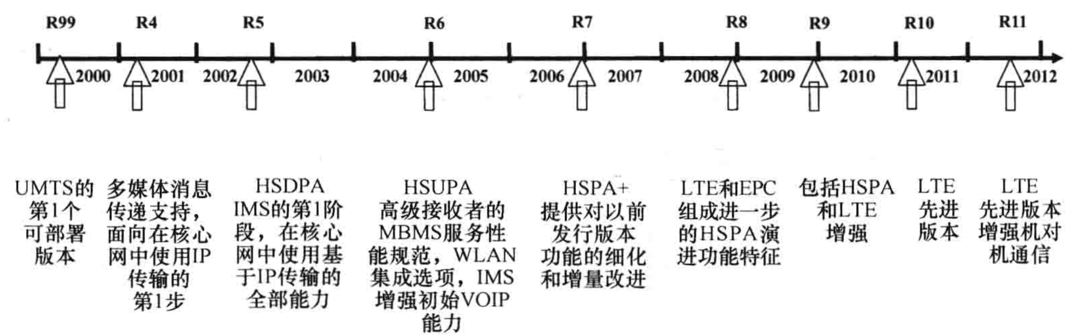


图 1.19　3GPP 发行版

RNS 通过标准 Iu 接口连接到核心网络，Iu 接口分成两个分支：用于电路交换（CS）服务的 Iu-CS 和用于报文交换（PS）服务的 Iu-PS。R99 核心网络基于 GSM/GPRS/EDGE 核心的一个中等演化方案。

话音和数据流量，以及所有的无线电信令协议，都透明地从 MS 传送到 RNC。仅在 Iu 接口处发生报文交换服务和电路交换的分离。Iu-CS 将电路交换服务（即话音和视频呼叫）连接到基于 3G-MSC 的 CS 域；报文交换服务（数据）通过 SGSN和 GGSN 节点承载。

从 3GPP 发行版本 4 开始引入电路交换核心网络的一个重要演进方案。发行版本 4 的控制与传输功能的分离是步向一个基于 IP 核心网络的第一个演进方案。在这个架构中，为用户数据传输引入一个连接层。在这个层中的关键单元是媒体网关（MGW）。它被连接到一个通用报文交换核心，并对任何类型的底层传输网络是开放的。Nb 是连接 MGW 的接口，并支持 ATM（异步传输模式）或 IP 传输。MSC 服务器通过 Mc 接口控制各 MGW。MSC 服务器之间的接口是 Nc，并在 IP 或 ATM 之上支持呼叫控制。当在 UMTS 接入网络中发起一个呼叫时，MSC 服务器在发起 MGW 和最接近端-目的地的 MGW 之间建立一条连接。通过这条连接（取决于底层传输网络，可能是物理连接或逻辑连接），传输实时流量。图 1.21 给出 3GPP 标准

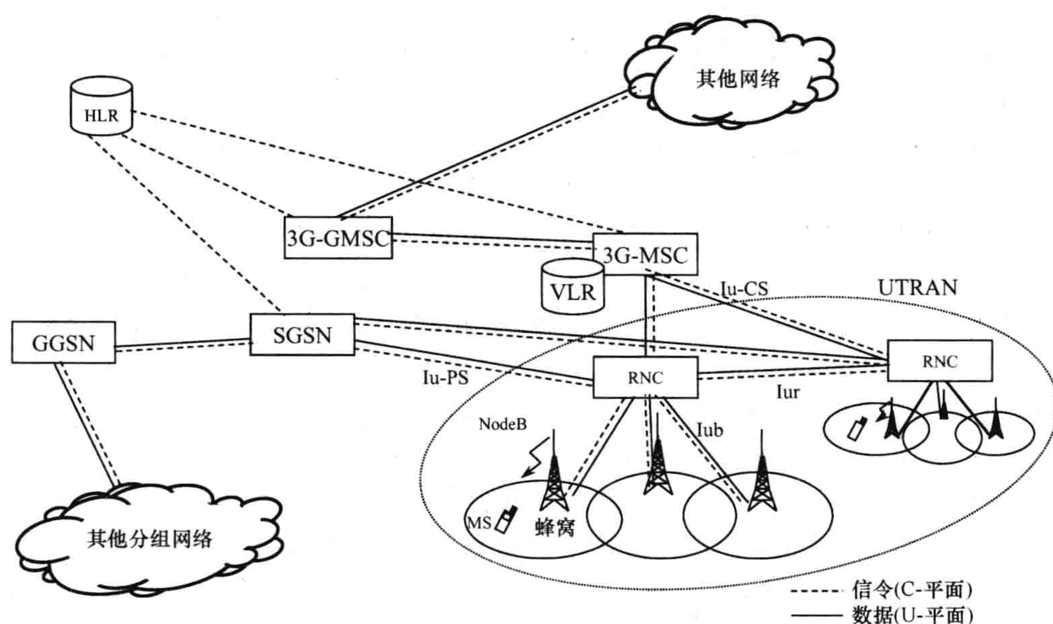


图 1.20　R99 UMTS 网络架构

发行版本 4 中提供的 UMTS 网络架构。

发行版本 5 包括引入 IP 多媒体子系统（IMS），IMS 是用于 IP 多媒体服务的架构。IMS 使用 IP 传输信令和用户数据，并基于会话初始协议（SIP）。

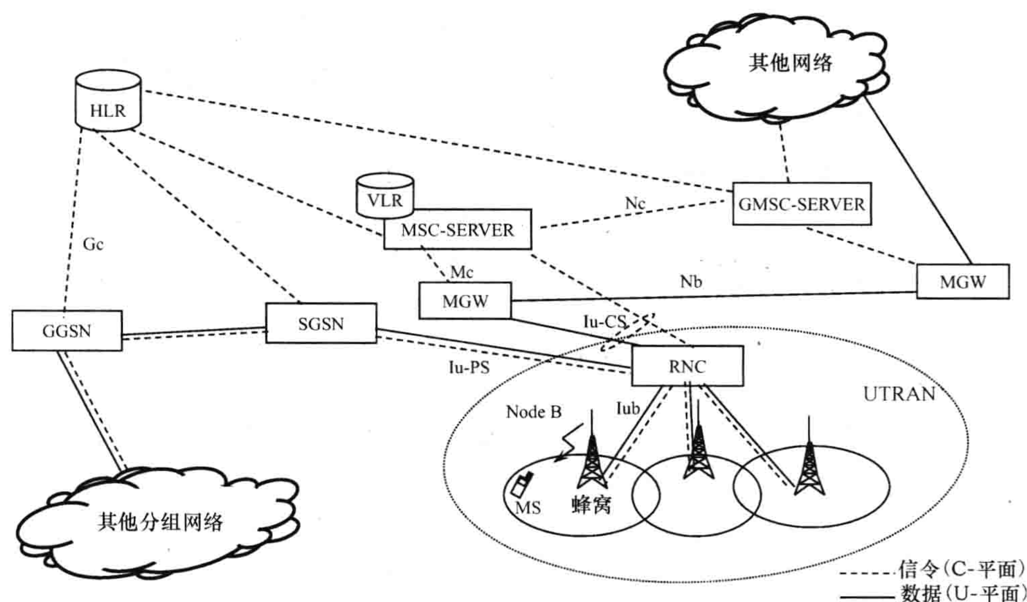


图 1.21　发行版本 4 中的 UMTS 网络架构

1.2.4 UMTS/HSPA/HSPA+接入网络

UMTS/HSPA/HSPA+接入网络包括移动站（MS）、节点B、无线电网络控制器（RNC）和有关的接口。无线电接口基于FDD和TDD模式的码分多址（CDMA）。

在FDD模式中，一个频带被指派给上行链路，一个不同频带被指派给下行链路。每个带宽有5MHz宽。在TDD模式中，一个5MHz频带在上行链路和下行链路之间分时共享。在多数国家，仅安装支持UMTS FDD。

1.2.4.1 CDMA基础

CDMA是基于将不同码指派给不同用户的一项多址技术。图1.22中形象地给出基于CDMA的一种简化的发送方案。

比特率为$R_b=1/T_b$的信号以编码速率k/n进入信道编码块，其中$k/n\leq 1$。这意味着对于有用信息的每k比特，编码器产生n比特的数据。在信道编码块输出处的信号比特率是$R'_b=1/T'_b=(n/k)R_b$。

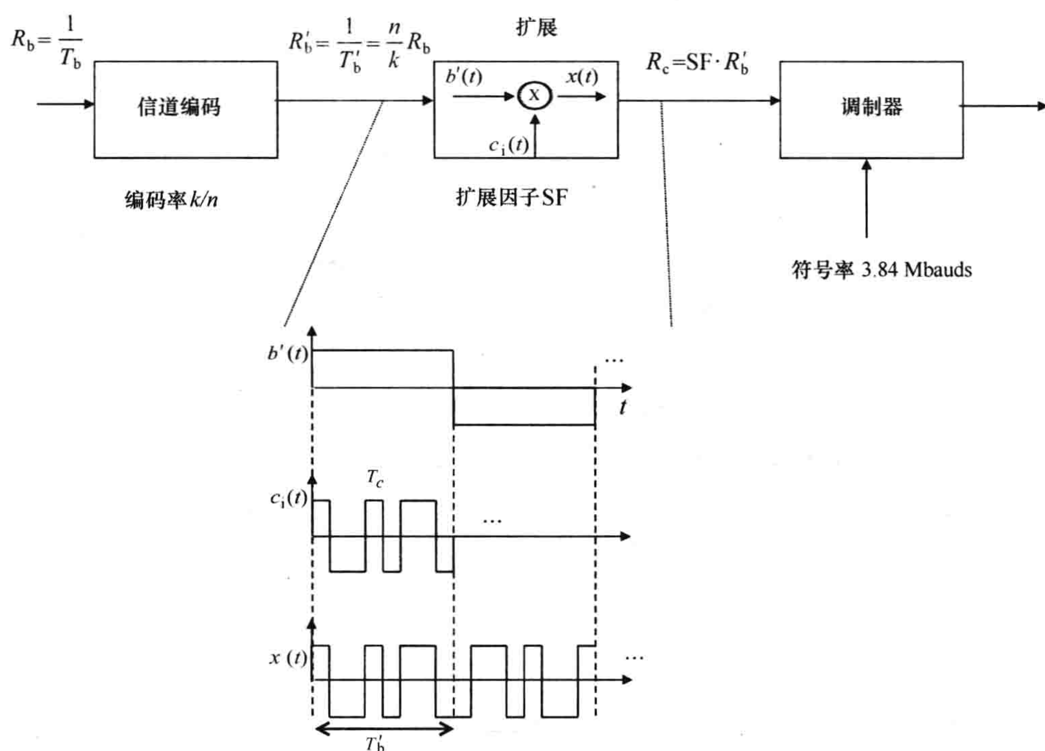


图1.22 基于CDMA的发送方案

关键单元是扩展模块，它以扩展因子（SF）实施扩频。扩展模块以如下方式工作。每个输入比特乘以一个码字（扩展码），码字有一个比特的时长，但由等于SF的多个片组成。一个片是形成码字$c(t)$的脉冲之一。

通过将不同扩展码指派给不同用户，取得多址访问。如果码是正交的，且不同用户间的发送是同步的，那么每个信号可被完美地解码。两个码 $c_i(t)$ 和 $c_j(t)$ 是正交的，如果

$$\frac{1}{T'_b}\int_{T'_b} c_i(t)\cdot c_j(t)\,dt = E[c_i(t)\cdot c_j(t)]\mid_{T'_b} = \begin{cases}1 & \text{如果 } i=j\\ 0 & \text{如果 } i\neq j\end{cases} \quad (1.1)$$

采用扩展码 $c_i(t)$ 编码的信号是

$$x(t) = b'(t)\cdot c_i(t) \quad (1.2)$$

如果传输具有相同速率 R'_b 的 N 个同步的被编码信号,既不考虑噪声也不考虑衰减，那么在接收侧的信号是 N 个信号的和:

$$z(t) = \sum_{k=1}^{N} x_k(t) = \sum_{k=1}^{N} b'_k(t)\cdot c_k(t) \quad (1.3)$$

为解码在时段 T'_b 期间由第 i 名用户发送的比特 b'_i,接收到的信号 $z(t)$ 乘以 $c_i(t)$，之后将得到的信号在 T'_b 上平均:

$$E[z(t)\cdot c_i(t)]\mid_{T'_b} = \frac{1}{T'_b}\int_{T'_b}\left(\sum_{k=1}^{N} x_k(t)\right)c_i(t)\,dt = \frac{1}{T'_b}\int_{T'_b}\left(\sum_{k=1}^{N} b'_k c_k(t)\right)c_i(t)\,dt$$

$$= \sum_{k=1}^{N} b'_k \frac{1}{T'_b}\int_{T'_b} c_k(t)c_i(t)\,dt = b'_i \quad (1.4)$$

式（1.4）表明，对于正交码和同步发送，被发送信号可被完美解耦。如果使用伪正交码，或被发送信号不是同步的，那么必须考虑到一个干扰分量。具有速率 $R_c = \mathrm{SF}\cdot R'_b$ 的编码信号进入调制器。调制器时钟是 3.84MHz(每秒 3.84×10^6 个调制符号),通过考虑一个 5MHz 的载波和一个 0.3 滚降的滤波器因子得到。

在 UMTS 中,使用两族码:完全正交的信道码(Waosh-Hadamard 码)和伪正交码。信道码有依 R'_b 变化的一个变化扩展因子(SF)和速率 k/n。它们也被称作正交变化的扩展因子(OVSF)码、信道码或扩展码,并增加发送频带的幅度。

图 1.23 给出 OVSF 码的构造。OVSF 码的长度总是 2 的一个幂次。伪正交码是加扰码,且不会改变发送带宽。在下行链路,加扰码与不同蜂窝关联;扩展码与相同蜂窝内的不同用户关联。下行链路的加扰码数受限于 512 个 Gold 码,该码用于蜂窝规划。在上行链路中,加扰码区分不同用户;扩展码区分同一用户的不同通信。用于上行链路的加扰码族是由数百万个不同码组成的,不必进行码规划。

1.2.4.2　UMTS 逻辑信道、传输信道和物理信道

逻辑信道是由介质访问控制(MAC)层提供给高层的资源,并由其信息内容的特性所刻画;它们携带与用户和控制平面有关的信息。UMTS 中的逻辑信道是

- 广播控制信道(BCCH):携带系统信息和网络配置参数。
- 公共控制信道(CCCH):为不处于连接模式的各 MS 携带双向控制信息。
- 寻呼控制信道(PCCH):用于寻呼一台 MS。
- 专用控制信道(DCCH):为处于连接模式的各终端在控制平面中传递信息。

$C_{4,1} = (1,1,1,1)$

$C_{2,1} = (1,1)$

$C_{4,2} = (1,1,-1,-1)$

$C_{1,1} = (1)$

$C_{4,3} = (1,-1,1,-1)$

$C_{2,2} = (1,-1)$

$C_{4,4} = (1,-1,-1,1)$

SF = 1　　SF = 2　　SF = 4

图 1.23　OVSF 码的构造

- 专用流量信道(DTCH):为处于连接模式的各终端在用户平面中传递信息。

传输信道是从物理层提供给 MAC 层的资源。UMTS 中的信道可以是共享的或专用的。UMTS 中的传输信道是

- 专用信道(DCH):下行链路和上行链路,携带用户平面或控制平面信息。
- 广播信道(BCH):下行链路,发送蜂窝和系统信息。
- 前向访问信道(FACH):下行链路,用于信令和数据。
- 寻呼信道(PCH):下行链路,携带寻呼(信息)。
- 随机访问信道(RACH):上行链路,在 MS 和 eNB(演化的节点 B)之间携带控制信息;容易遇到冲突。

物理信道是用于在无线电接口上发送的资源。它们由一个载波频率、一个前向纠错(FEC)码、一个加扰码和一个扩展码定义。物理信道是

- 物理随机访问信道(PRACH):上行链路,在随机访问过程中携带随机访问前导码(preambles)。
- 专用物理信道(DPCH):上行链路和下行链路,携带专用于一条连接的信令(专用物理控制信道,或 DPCCH)和数据(专用物理数据信道,或 DPDCH)。
- 主公共控制物理信道(PCCPCH):下行链路,携带 BCH。
- 辅助公共控制物理信道(SCCPCH):下行链路,携带 PCH 和 FACH。

图 1.24 给出在逻辑、传输和物理层处的下行链路和上行链路信道及其映射。在该图中也给出如下信道:

- 同步信道(SCH):下行信道,将移动站同步到网络。
- 指示器信道(ICH):带有布尔值的信令实体。

指示器的例子有:

- 获取指示器信道(AICH):下行链路,用于对 PRACH 中前导码的响应。

● 寻呼指示器信道(PICH):下行链路,指示处于睡眠模式的 MS 在后续帧中侦听寻呼信道;睡眠模式是节省电池的一种不连续接收模式。

当一台 MS 打开时,它通过同步信号搜索和选择一个蜂窝,之后从 PCCPCH 中得到系统信息,执行随机访问过程,并发送信令注册到网络。

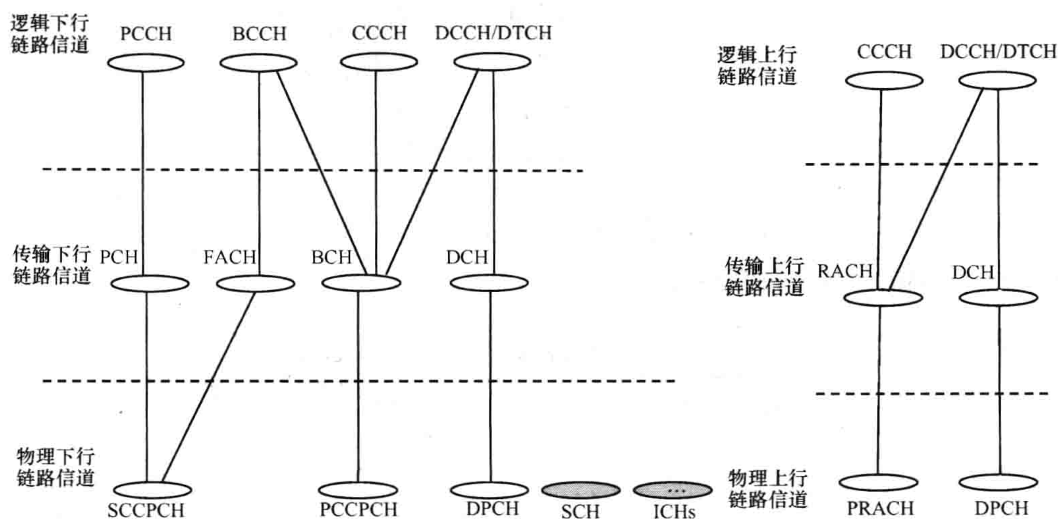


图 1.24　逻辑、传输和物理信道映射

图 1.25 给出在无线电资源控制(RRC)连接建立过程中使用逻辑信道、传输信道和物理信道的一个例子。RRC 协议实施无线电资源的分配和释放、接纳和拥塞控制等。它处在控制平面协议栈中的层 3。

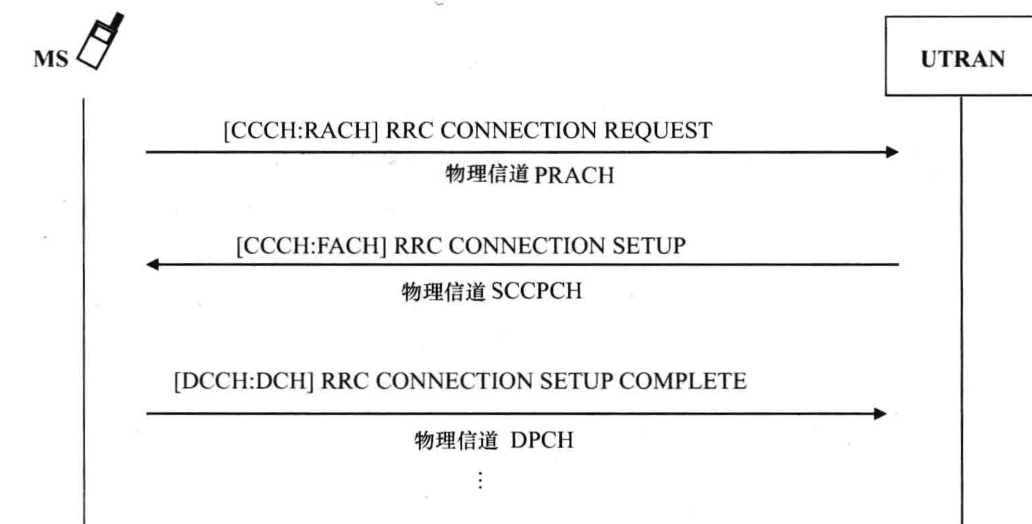


图 1.25　RRC 连接建立过程的例子

1.2.4.3 UMTS 调制

UMTS 的 FDD 版本在下行链路中使用四相移相平移键控(QPSK)调制和上行链路的双重二相移相键控(BPSK)调制。专用物理信道 DPDCH 和 DPCCH 在下行链路中是时间复用,且每个星座符号携带 DPDCH 或 DPCCH,采用相同 SF 进行发送(从 4 到 512)。在上行链路中,I-分支携带 DPCCH(具有固定的 SF =256)和 Q-分支携带 DPDCH(具有从 4 到 256 的一个变化的 SF)。图 1.26 给出 UMTS FDD 模式中的各种调制。

在上行链路中,为维持 MS 和 BTS 之间的同步,在 DPDCH 暂停期间也发送 DPCCH。在 UMTS 中为称作发送时间间隔(TTI)的一个间隔,分配物理资源。最短的 TTI 是 10ms,但它也可以是 20ms、40ms 和 80ms。在 UMTS 中,信息是以 10ms 的帧和 15 个时槽的形式进行结构组织的。

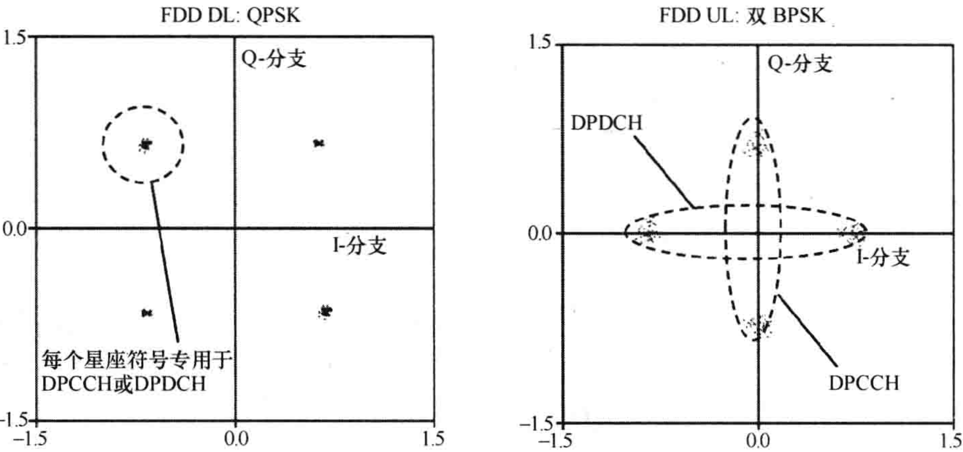


图 1.26 UMTS FDD 模式中的调制

1.2.4.4 HSPA

高速报文接入(HSPA)是 UMTS 针对高比特速率数据传输的演进方案。它可被分成其下行链路和上行链路版本:高速下行链路报文接入(HSDPA)和高速上行链路报文接入(HSUPA)。

在 3GPP 标准发行版本 5 中引入了 HSDPA,它包括:

- 将 16-QAM(正交幅度调制)添加到 QPSK。
- 自适应调制和编码(AMC),峰值比特率高达 14.4Mbit/s。
- 固定扩展因子 SF =16 和多码发送。
- 引入新的无线电信道。
- 一些 RNC 功能移到节点 B。

HSDPA 引入一个新的传输信道,即高速下行链路共享信道(HS-DSCH),其中 TTI 降低到 2ms。不同用户可被复用到同一 HS-DSCH 中的相邻 TTI。HS-DSCH 在

物理层被映射到高速物理下行链路共享信道(HS-PDSCH)。

在上行链路中,在一个物理专用控制信道(即高速专用物理控制信道(HS-DPCCH))中携带无线电块的一条确认(ACK/NACK)。HS-DPCCH也携带信道质量指示器(CQI),它对应于调制和编码方案(MCS)和传输块尺寸(TBS),对于它,估计的接收下行链路传输块错误率(BLER)不要超过10%。TBS是在一个TTI中携带的数据量。

图1.27给出不同用户复用在具有2ms TTI的HD-DSCH中的情形。在上行链路中,HS-DPCCH携带ACK/NACK和CQI。

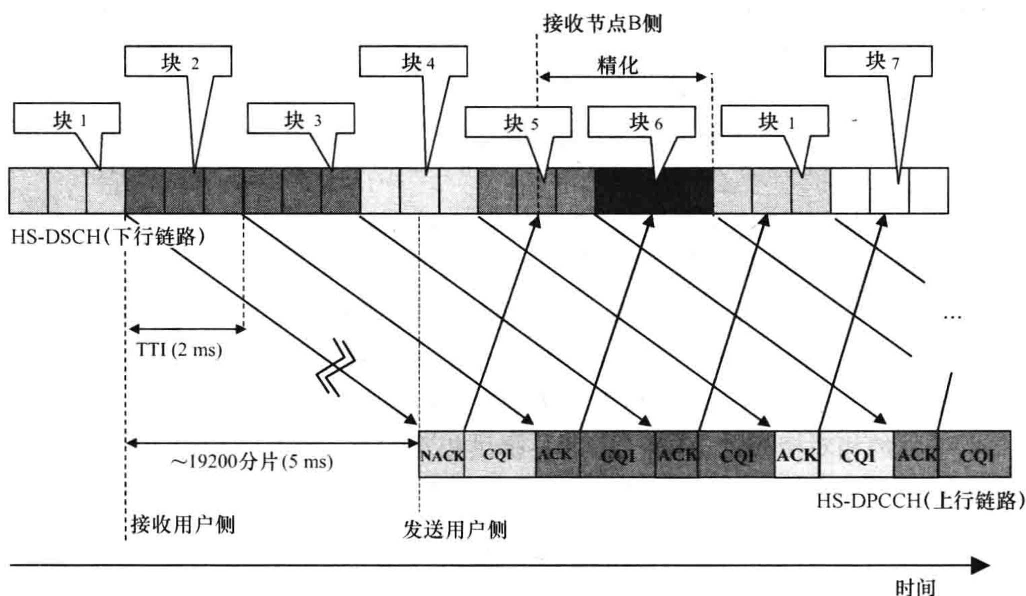


图1.27　在HS-DSCH上的HSDPA发送和反馈

调度信息在一个新的下行链路共享控制信道即高速共享控制信道(HS-SCCH)中携带。它使用SF=128的一个码,并以2ms的间隔发送传输格式(TF),TF代表解调和解码(调制和编码方案、传输块尺寸)数据所需的信息,这些数据是在HS-DSCH上发送到一台移动站的。特别地,调度信息被分成两部分:

- 部分1:持续一个时间槽,并携带解调HS-DSCH所必要的信息,它包含移动站MAC标识符、调制和信道码集(CCS),CCS识别指派的扩展码。
- 部分2:附加在HS-DSCH上,并携带解码HS-DSCH所必要的信息,像传输块尺寸(TBS)和混合自动重复请求(HARQ)方案。

图1.28给出携带调度信息的HS-SCCH。

表1.4给出传输格式的一些例子。第一行给出用于384kbit/s比特率的R99传输格式。最后一行表明,为达到14.4Mbit/s的最大比特率,整个蜂窝容量必须指派给单个用户(具有SF=16的15个码),采用16-QAM调制且没有编码(编码率=1)。

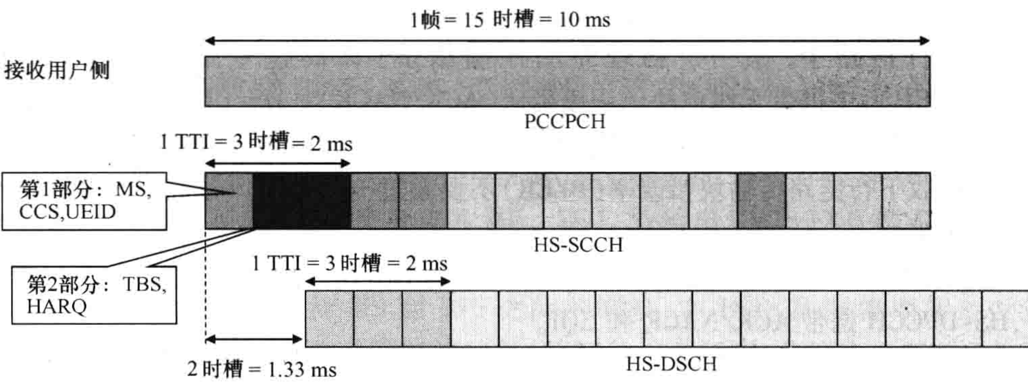


图 1.28　HSDPA 中的调度信息

HSUPA 使用 UMTS R99 的多数功能特征。它是在 3GPP 标准发行版本 6 中引入的，并提供：

- 自适应编码，采用多码发送，且峰值比特率高达 5.76Mbit/s。
- 一些 RNC 功能移到节点 B。

引入了一个新的专用传输信道，即增强的专用信道（E-DCH）。它支持多码发送和自适应编码。为支持 HSUPA，将如下物理信道添加到无线电接口：

- 增强的 HARQ 指示器信道（E-HICH）：下行链路，用于发送 HARQ ACK。
- 增强的相对授权信道（E-EGCH）：提供相对的步进增加/降低（step up/down）调度命令。

表 1.4　HSDPA 传输格式

调　制	TBS/bit	TTI/ms	编　码　率	RLC 数据速率/(Mbit/s)	码　数　量
QPSK(R99)	3840	10	1/3	0.384	1(SF=8)
QPSK	317	2	1/3	0.16	1(SF=16)
QPSK	461	2	1/2	0.23	1(SF=16)
QPSK	931	2	1/2	0.46	2(SF=16)
QPSK	1483	2	1/2	0.74	4(SF=16)
QPSK	2279	2	1/2	1.14	5(SF=16)
QPSK	3319	2	~0.7	1.65	5(SF=16)
16-QAM	3565	2	~0.4	1.8	5(SF=16)
16-QAM	4664	2	1/2	2.3	5(SF=16)
16-QAM	7168	2	3/4	3.6	5(SF=16)
16-QAM	11418	2	3/4	5.7	8(SF=16)
16-QAM	14411	2	3/4	7.2	10(SF=16)

（续）

调　制	TBS/bit	TTI/ms	编　码　率	RLC 数据速率 /(Mbit/s)	码　数　量
16-QAM	17237	2	3/4	8.6	12(SF=16)
16-QAM	21754	2	3/4	10.9	15(SF=16)
16-QAM	25558	2	~0.9	12.8	15(SF=16)
16-QAM	28776	2	1	14.4	15(SF=16)

- 增强的绝对授权信道(E-AGCH)：为用户设备(UE)提供绝对调度。
- 增强的专用物理数据信道(E-DPDCH)：携带用户平面信息。
- 增强的专用物理控制信道(E-DPCCH)：携带控制平面信息。

图 1.29 给出 HSDPA 和 HSUPA 逻辑信道、传输信道和物理信道及其映射。

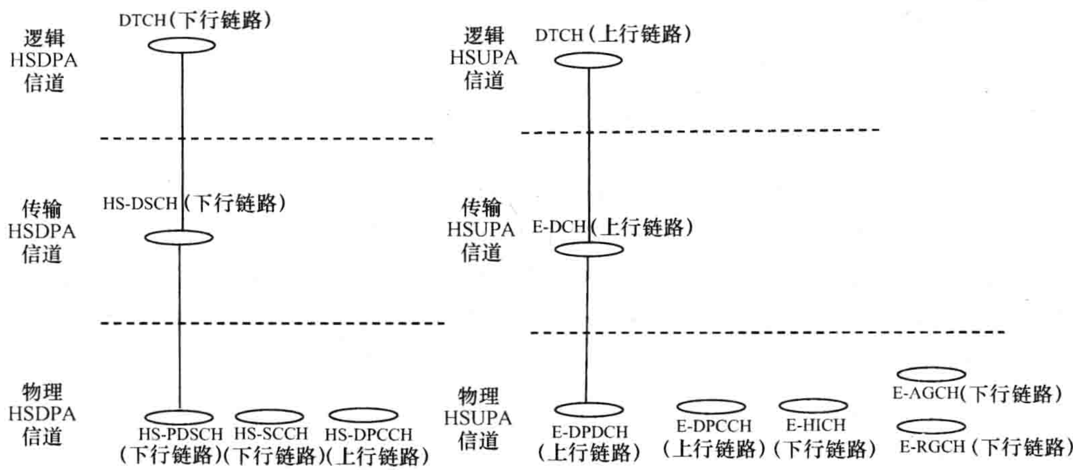


图 1.29　HSDPA 和 HSUPA 逻辑信道、传输信道和物理信道及其映射

1.2.4.5　HSPA+

演进的高速报文接入方案也称作 HSPA+，并从发行版本 7 开始进行了标准化。它在物理层引入新特征，增加最大上行链路(UL)和下行链路(DL)比特率，并在 MAC 层引入新特征以增强报文连接性能。

到发行版本 11 为止，在物理层引入的主要特征是

- 较高阶的 QAM：用来增加上行链路和下行链路比特率。
- 多输入多输出(MIMO)天线：用来增强接收信噪比(SNR)或增加比特率。在本书 1.2.6.4 节给出 MIMO 的一个介绍。
- 载波汇聚：为增加比特率，汇聚多个载波，每个载波有 5MHz 宽。

表 1.5 给出到 3GPP 发行版本 11 为止引入到 HSPA+ 中的特征。

表 1.5 HSPA 和 HSPA + 主要功能特征

3GPP 发行版本	DL		UL	
	特征	RLC 比特率/(Mbit/s)	特征	RLC 比特率/(Mbit/s)
R6	16-QAM	14.4	双重 BPSK	5.76
R7	64-QAM	21.1	16-QAM	11.5
	16-QAM,2×2MIMO	28.8	16-QAM	11.5
R8	64-QAM,2×2MIMO	42.2	16-QAM	11.5
R9	64-QAM,2×2MIMO,双载波(10MHz)	84	16-QAM,双载波	23
R10	64-QAM,2×2MIMO,四载波汇聚(20MHz)	168	16-QAM,双载波	23
R11	64-QAM,2×2MIMO,四载波汇聚(20MHz)	336	64-QAM,双载波,2×2MIMO	69

1.2.5 LTE 网络架构

LTE 是由 3GPP 标准化的一个新系统。有关 LTE 的工作开始于 2004 年 11 月 2~3日在多伦多召开的一个研讨会。在此次研讨会过程中,制造商、研究人员和运行商共同努力确定出 UTRAN 演进方案的高级需求。焦点主要放在无线电接入上,针对无线电演进提出几项建议。从 2004 年 12 月到 2006 年 6 月,实施了有关 LTE 系统的可行性研究。

从开始确定出的 LTE 需求,涉及服务(在 IP 之上支持话音和多媒体,上行链路和下行链路的高比特率,低延迟)、无线电性能(可扩展带宽,为提高吞吐量使用 MIMO)、成本(简化的网络架构,在 IP 之上用户平面和控制平面的传输)以及与现有无线电移动网络的互联[6]。

详细的标准工作开始于 2007 年 6 月。3GPP 目标是"为步向高数据速率、低延迟和报文优化的无线电接入技术,开发演进 3GPP 无线电接入技术的一个框架"。

与 LTE 无线电接入的定义项目并行,启动了与核心网络有关的一个 3GPP 项目。该项目被称作系统架构演进(SAE)方案,目标是标准化演进的报文核心(EPC)网络。EPC 是一个全 IP 网络,不仅支持 LTE 接入网,而且支持其他 3GPP(GSM/GPRS/EDGE,UMTS/HSPA/HSPA +)和非 3GPP(WLAN(无线局域网)、WiMAX 等)接入网络。

2008 年末,完成 3GPP 发行版本 8。它规范了基于 LTE OFDMA 的接入网并定义了 EPC。因为 EPC 是一个全 IP 网络,它不支持话音,除非采用 IP 多媒体子系统(IMS)的方式来支持话音。

为话音服务定义了两项功能:

• 无线电话音呼叫连续性(RVCC)。这项功能提供一项 VoIP(IP 上的话音)/IMS 服务,它使用 LTE 无线电接入网络,如有必要会从 LTE 报文交换域转换到 2G 或 3G 电路交换域。

• 电路交换备用方案(fallback)(CSFB)。这项功能不需要 IMS,为 LTE 设备支持电路交换式话音。当一台 LTE 移动站发出或接收一条话音呼叫时,它转换("退回")到 3G 或 2G 网络,服务该呼叫。

家庭演进的节点 B(H-Enb)得到 3GPP 发行版本 8 的支持。发行版本 9 出现在 2009 年末,对 HSPA 和 LTE 发行版本 8 引入增强特征。发行版本 10 出现在 2011 年,并引入 LTE 高级版的特征。

图 1.30 给出带有接入网络(称作演进的 UTRAN(E-UTRAN))和演进的报文核心(EPC)网络的 LTE 网络架构。从图中清晰地看出,网络结构是极端简化的。事实上,接入网络中的唯一节点是演进的节点 B(eNB),它包括基站及其控制器的功能。

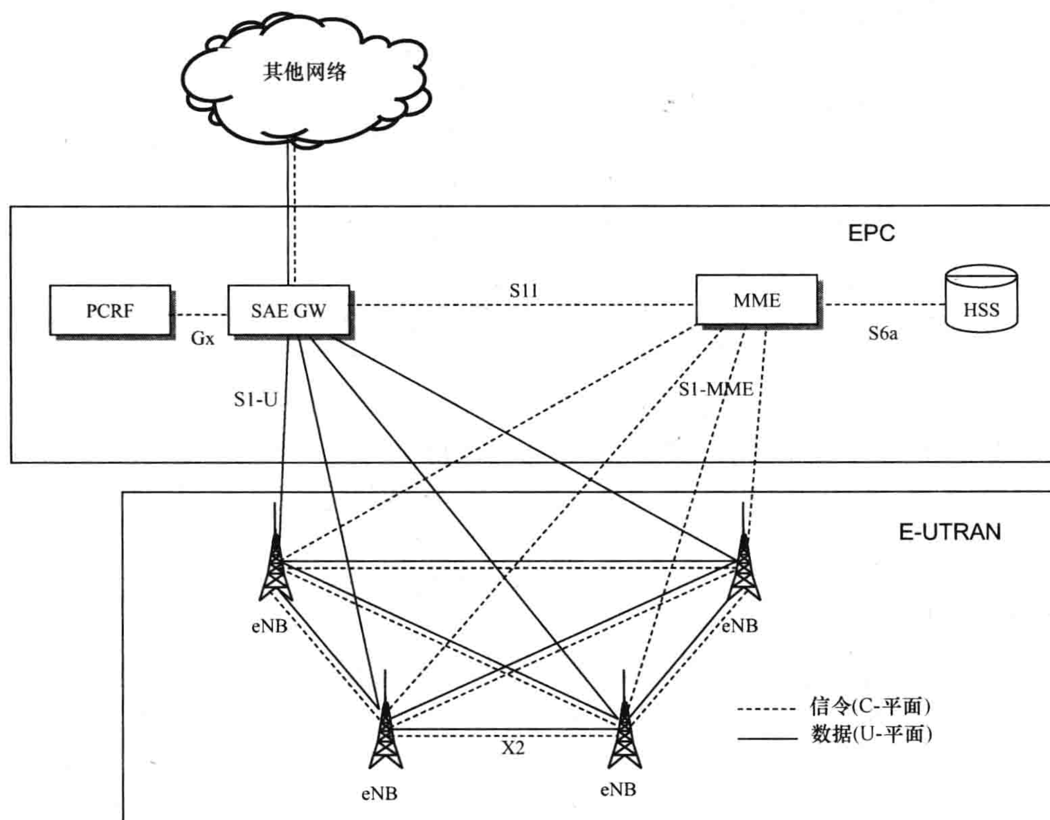


图 1.30　LTE 网络架构

eNB 主要功能有:

• 无线电资源管理:无线电载波控制、无线电接纳控制、上行链路和下行链路中资源的调度、重传处理。

- 移动性管理。
- 用户数据的 IP 报头压缩和加密。
- 在 UE 连接处选择一个移动性管理实体(MME),如果 UE 没有提供这个信息的话。
- 将用户数据路由到一个网关。
- 控制消息(寻呼、广播)的调度和发送。
- 针对移动性和调度的测量及测量报告配置。

各 eNB 通过 X2 接口互联,该接口携带数据(用户平面)和信令(控制平面)。

在 EPC 中,信令和数据是隔离的,并由不同节点加以管理。通过 S1-MME 接口,MME 连接到 eNB,接口携带控制平面消息。通过 S1-U 接口,系统架构演进网关(SAE GW)连接到 eNB,接口携带用户平面消息。归属用户服务器(HSS)是所有永久性用户数据的存储库,这些数据像用户概要,以及认证、加密和完整性保护的永久密钥。它也存储在被拜访网络控制节点层次(例如 MME)处用户的位置。

MME 管理移动性、MS 身份和安全性参数。MME 的主要功能有:

- 它执行跟踪和寻呼过程,并指派临时身份。
- 在连接(注册)过程中,它从 eNB 接收连接请求消息,并将"create default bearer request"(创建默认的载波请求)转发到 SAE GW。
- 它涉及 LTE 内切换,包括一个核心网络节点重新分配。
- 它执行认证和加密过程。

与注册有关的语境,称作默认载波的一条连接被建立,且一个 IP 地址被指派给 MS。

SAE 网关可被分成两个网关:服务网关(SGW)和报文网关(PGW)。SGW 的主要任务是 IP 路由和 IP 报文的转发。它是 eNB 切换的用户平面锚点,此时用户在 3GPP 接入技术间切换。PGW 被连接到 SGW 和外部网络。它负责 QoS,且当 MS 在 3GPP 和非-3GPP 无线电接入技术间切换时作为用户平面锚点。一个 MS 可有到一个以上 PGW 的同时接入(例如,可接入不同报文数据网络)。SAE 网关也实施报文过滤和将 IP 地址分配给移动站。

EPC 中包括的最后一个单元是策略和收费资源功能(PCRF),以 Gx 接口(仅有信令)连接到 PGW。它实现策略和收费规则,并细化策略和收费控制请求。EPC 可容易地与 3GPP 和非 3GPP 接入网络(例如固定宽带、无线 LAN、WiMAX 等)集成。它支持 3GPP 接入网络间的全移动能力,以及其他接入网络间的漫游。EPC 是一个基于 IP 的核心网络;它没有以原生方式支持话音和多媒体。

LTE 的最初开发的系统不支持话音服务,除非网络运营商实现 IP 多媒体子系统(IMS)来支持话音。3GPP 标准的发行版本 8 引入电路交换式备用(CSFB)过程,它为来自其他现有 3G 或 2G 接入网络的一台移动站在 LTE 上服务话音业务提供支持。这要求 2G/3G 覆盖以及 MME 和 MSC 服务器之间的一个新接口 SGW。

图 1.31 给出在 LTE 网络节点中实现的协议架构。eNB 中的无线协议栈包括：

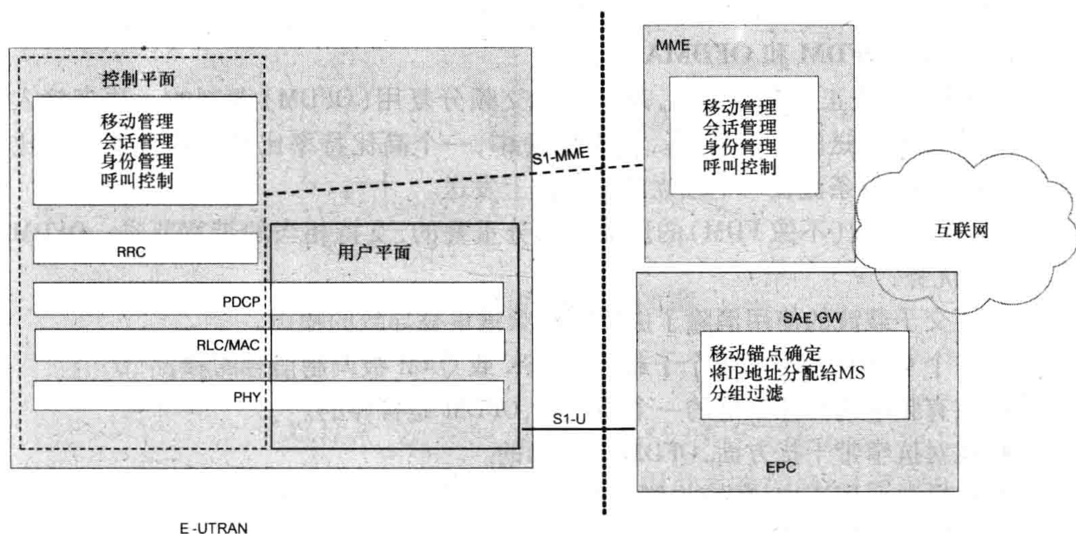


图 1.31　LTE 协议架构

- 物理层（PHY）：涉及用户平面和控制平面，并实施同步、信道编码、交织、调制解调、复用、测量和测量报告。
- 介质访问控制（MAC）：涉及用户平面和控制平面，并实施信道访问控制机制、报文排队、优先级处理。它是协议栈中第二层的下面部分。
- 无线电链路控制（RLC）：处理流控、分段、错误控制、重传。它是协议栈中第二层的上面部分。
- 报文数据汇聚协议（PDCP）：为用户平面（UP）中的无线电发送实施 IP 报头压缩以及控制平面（CP）中的加密和完整性保护。
- 无线电资源控制（RRC）：在控制平面中，实施无线电资源的分配和释放，接纳和拥塞控制，以及蜂窝间无线电资源管理。它处在 CP 协议栈的第三层。

与控制平面有关但不与无线电接口有关的其他协议实现在 eNB 和 MME 之中。这样的协议提供非访问层（NAS）功能，有移动性管理（MM）、会话管理（SM）、呼叫控制（CC）和身份管理（IM）。

1.2.6　LTE 接入网络

LTE 接入网络是 E-UTRAN，作为互联的演进节点 B（eNB）的一个扁平架构。LTE 无线电接口基于如下支持技术：

- OFDMA（正交频分多址）：用于下行链路（从 eNB 到 MS）。
- SC-FDMA（单载波 FDMA）：用于上行链路（从 MS 到 eNB）。
- MIMO（多输入多输出）天线。
- 多载波信道相关资源调度。

- 分形(fractional)频率重用。

下面各节给出 LTE 无线电接口的主要特征。

1.2.6.1 OFDM 和 OFDMA

OFDMA,代表正交频分多址,是基于正交频分复用(OFDM)调制的一项多接入技术,是多载波发送的一个特例。在 OFDM 中,一个高比特率比特流被分割成低比特率的多条流,每条流在一个独立的子载波上发送。

OFDM 子载波(不像 FDM)的形成是部分重叠的,支持相当的带宽节省。OFDM 给出如下优势:

- 正交子载波的使用消除了由于部分频谱重叠导致的噪声。
- 一个 OFDM 信号是每个子载波中 PSK 或 QAM 被调制信号的和。
- 在有频率选择性衰落的一个环境中,OFDM 是鲁棒的。
- 就对抗窄带干扰方面,OFDM 是鲁棒的。
- 在慢时变信道中,在接收侧调节信噪比(SNR)函数中每个子载波的速率,是可能的。
- OFDM 使单频率网络成为可能。
- OFDM 使可伸缩带宽成为可能。

在 OFDMA 中,通过将某些时槽中的一个子载波群指派给每名用户,取得不同用户间多接入。

图 1.32 给出 OFDM 和 OFDMA 之间的差异:在 OFDM 中,每名用户发送时使用所有的子载波;在 OFDMA 中,所有子载波是同时在不同用户间共享的。一名用户可在连续或非连续子载波之上发送。LTE 使用 OFDMA 用于下行链路多址。

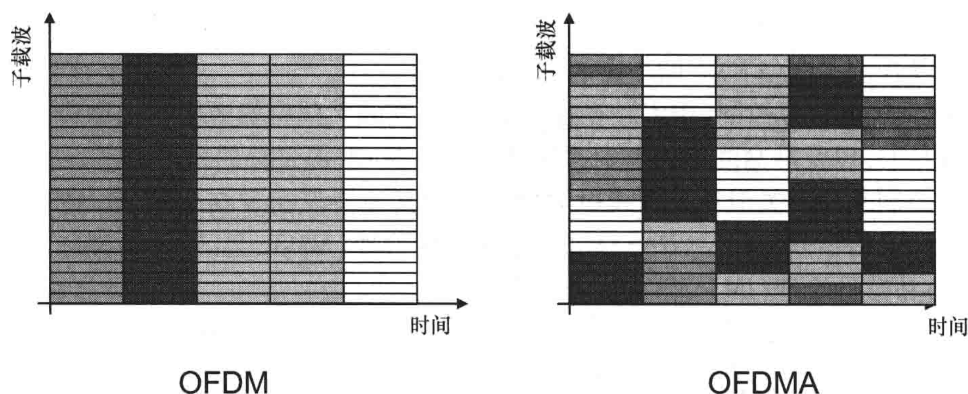


图 1.32 OFDM 和 OFDMA

1.2.6.2 OFDM 基础

OFDM 是一种多载波调制,其中一条高比特率比特流被分割成多条低比特速率的流,每条流是在一个独立的子载波上进行 QAM 调制的。图 1.33 给出 QAM 调制器方案。

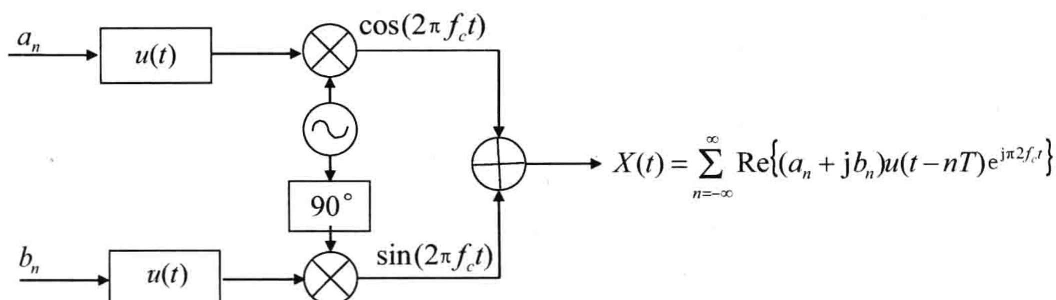


图 1.33　QAM 调制器方案

QAM-调制的信号是

$$X(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\mathrm{Re}\{(a_n+\mathrm{j}b_n)u(t-nT)\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi f_c t}\} \tag{1.5}$$

式中　T 是符号时间；$(a_n+\mathrm{j}b_n)$ 是在第 n 个符号时间发送的 QAM 符号；$u(t)$ 是在没有符号间干扰时满足奈奎斯特条件的一个滤波器；f_c 是载波频率。通过对 N 个 QAM 调制的信号求和，得到一个多载波信号：

$$X(t)=\mathrm{Re}\{\sum_{i=0}^{N-1}X_i(t)\}=\mathrm{Re}\{\sum_{n=-\infty}^{\infty}\sum_{i=0}^{N-1}[X_{n,i}u(t-nT)\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi f_i t}]\} \tag{1.6}$$

式中　T 是符号时间；$X_{n,i}=a_{n,i}+\mathrm{j}b_{n,i}$ 是在第 n 个符号时间在第 i 个子载波之上发送的符号，f_i 是第 i 个子载波。

两个不同子载波（i 和 j）是正交的，如果：

$$\frac{1}{T}\int_{-\infty}^{\infty}u(t)\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi f_i t}\cdot u(t)\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi f_j t}\mathrm{d}t=\begin{cases}1 & i=j\\ 0 & i\neq j\end{cases} \tag{1.7}$$

在 OFDM 中，子载波的间隔是 $\Delta f=1/T$。如果 $f_i=f_0+1/T$，式（1.6）可如下写出：

$$X(t)=\mathrm{Re}\{\sum_{i=1}^{N}X_i(t)\}=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\mathrm{Re}\{u(t-nT)\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi f_0 t}\sum_{i=0}^{N-1}\{X_{n,i}\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi t(i/T)}\}\} \tag{1.8}$$

观察分量：

$$X_{\mathrm{bb}}(t)=\sum_{i=0}^{N-1}\{X_{n,i}\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi t(i/T)}\}$$

是在第 n 个符号时间处的等价基带信号，且是一个傅里叶反变换。

如果 $X_{\mathrm{bb}}(t)$ 是在 kT/N 个间隔采样的，则得到如下离散序列：

$$x_{n,k}=\sum_{i=0}^{N-1}\{X_{n,i}\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi i(k/N)}\},k=0,\ldots,N-1 \tag{1.9}$$

式（1.9）是在时间 n：$\{X_{n,1}X_{n,2}\ldots X_{n,N}\}$（小于一个尺度因子 N）处调制符号的离散傅里叶反变换（IDFT）的表达式。以 kT/N 各间隔在一个符号时间 T 中发送的序列 $\{x_{n,1}x_{n,2}\ldots x_{n,N}\}$ 被称作 OFDM 符号。

式（1.8）提出在调制器的基带部分中带有一个快速傅里叶反变换（IFFT）运

算的多载波调制的一个等价实现。等价调制器方案如图 1.34 所示。

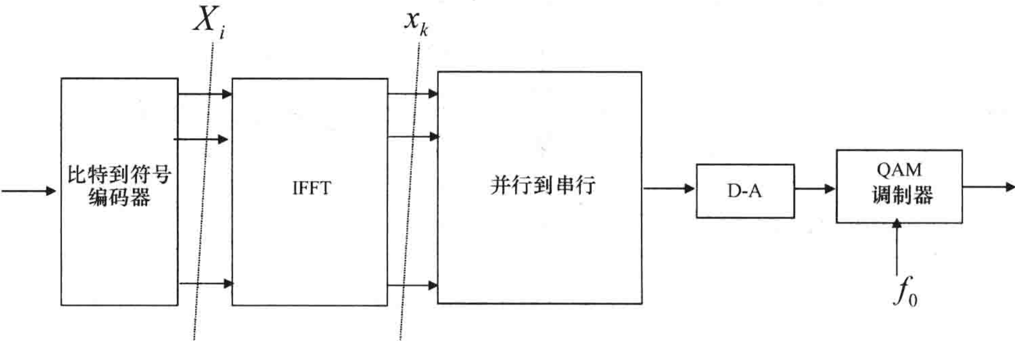


图 1.34 OFDM 调制器方案

在发送侧，在符号时间 n 中，N 个符号 X_i 被放入作为 IFFT 块的输入，产生 OFDM 符号 $\{x_1 x_2 ... x_N\}$。那么存在从并行到串行的一次变换（在时间距离 T/N 处），并通过一个数字到模拟的转换器，在频率 f_0 处产生并调制两个信号（$\{x_i\}$ 序列的实部和虚部）。

在接收侧，f_0 载波被解调，并得到被发送信号实部和虚部的一个估计。通过在步 T/N 处对所接收的信号采样，得到 $\{\hat{x}_i\}$ 序列。那么快速傅里叶变换（FFT）运算返回在每个子载波上发送的 QAM 符号的一个估计。相应的解调器方案如图 1.35 所示。

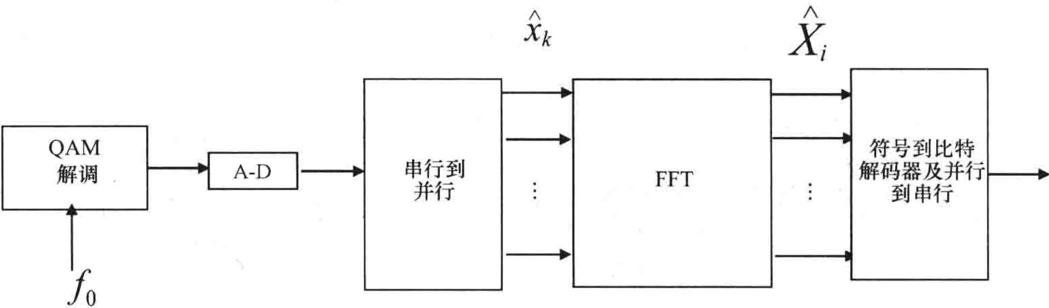


图 1.35 OFDM 解调器方案

在一个等价的数字基带发送模型中，一个信道可这样建模，在时域通过带有 $v+1$ 个分支：$h_0 h_1 ... h_v$ 的一个 FIR（有限脉冲响应）滤波器建模。如果 $\{x_1 x_2 ... x_N\}$ 在一个符号时间中在等价基带信道上发送，那么信道输出是

$$x_k = \sum_{i=0}^{v} x_{k-i} h_i$$

存在带有记忆的一条信道，产生 OFDM 间符号干扰。为消除这种干扰，将由 v 个符号组成的一个前缀添加到发送序列 $\{x_i\}$。输入序列的周期性是这样模拟的，即将序

列最后 v 个样本复制，并放在序列头部。得到的前缀被称作循环（cyclic）前缀。图 1.36 给出等价基带发送方案，其中在发送侧插入循环前缀，在接收侧去除添加的样本。

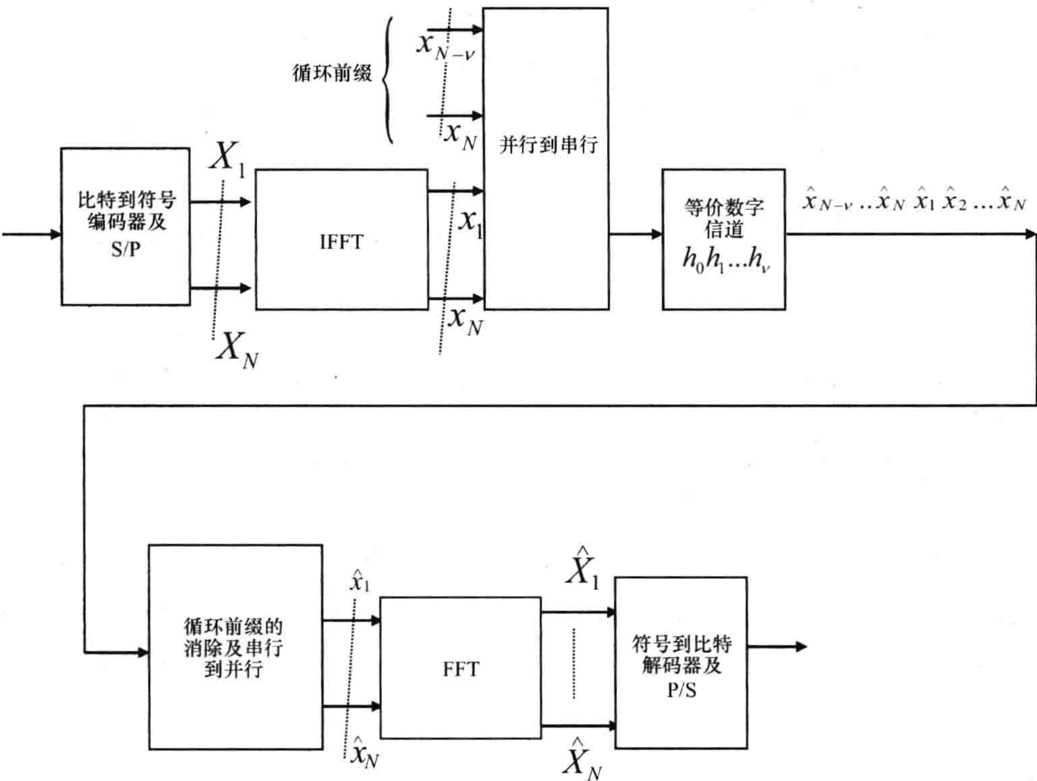


图 1.36　带有循环前缀的等价 OFDM 基带发送方案

1.2.6.3　SC-FDMA 基础

图 1.37 给出单载波 FDMA（SC-FDMA）发送的方案。不像 OFDM，QAM 符号通过一个离散傅里叶变换（DFT）块变换到频域，得到与子载波关联的离散符号序列，之后通过一个 IFFT 变换回时域。

SC-FDMA 被用于 LTE 的上行链路多址。它基于 FDMA，但它意味着使用正交子载波。一个 DFT 预处理被添加到一个常规 OFDMA 发送器。通过指派不重叠的邻近子载波群，在不同用户间共享频率资源。因此，在上行链路中的带宽分配是连续的。为上行链路选择 SC-FDMA 的原因是，它给出低的峰值与均值的功率比（PAPR），这意味着功率放大器的高效使用，因此意味着移动站电池消耗的显著降低。

1.2.6.4　MIMO 基础

一个 MIMO 系统由 m 个发送天线和 n 个接收天线组成，其中 $n \geqslant m$。如果假定一个窄带信道，则发送天线 i 和接收天线 j 之间的连接可通过一个分量 h_{ij} 表示，且

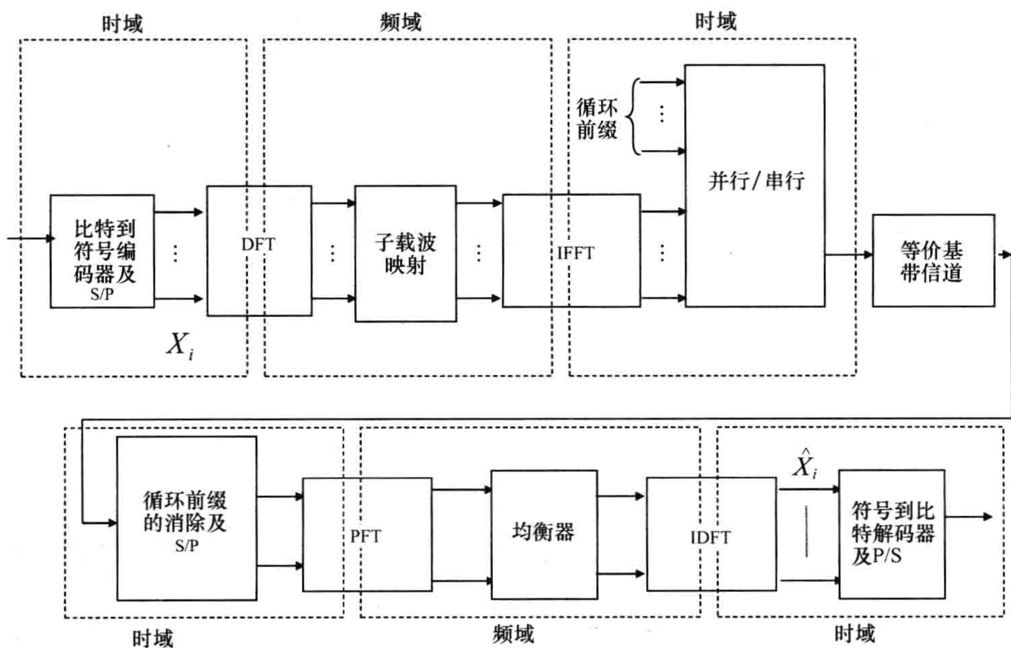


图 1.37　SC-FDMA 发送方案

MIMO 系统可如图 1.38 所示进行建模。

如果 s_i是在第 i 个发送天线（$i=1, 2, \cdots, m$）处的信号，则在第 j 个（$j=1, 2, ..., n$）接收天线处的信号是

$$y_j = h_{j1}s_1 + h_{j2}s_2 + ... + h_{jm}s_m + n_j \tag{1.10}$$

式中 n_j是在第 j 个天线处接收到的噪声分量。

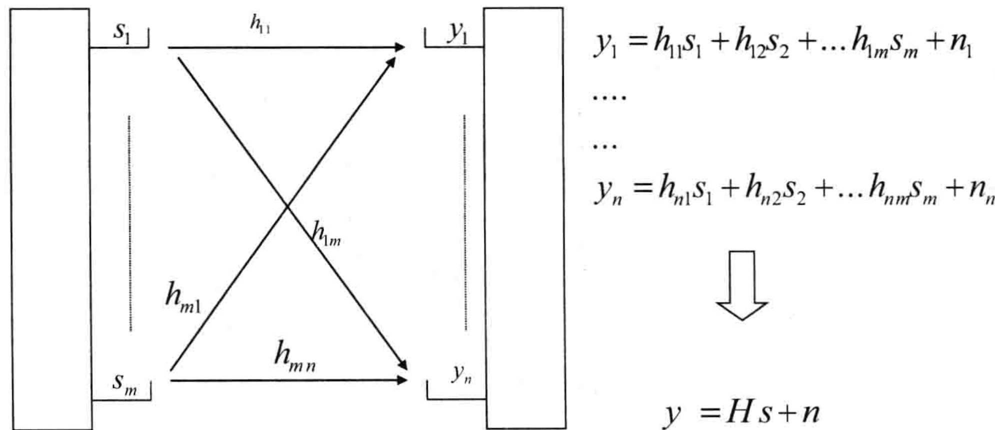


图 1.38　MIMO 模型

在一个 MIMO 系统中，一起存在的有三种技术：

- 多样性。

- 波束形成（beamforming）。
- 空分复用。

1. 多样性

在发送侧和接收侧可实施多样性技术。多样性的目标是改进接收信号的质量，即在接收侧有较高的信噪比（SNR）。

因为不同的传输路径，接收器看到不同的衰减信号。在接收侧针对多样性的最常用技术有：

- 切换式（switched）的多样性，总是选择最强信号。
- 等增益组合（EGC），固有地将接收到的信号求和。
- 最大比率组合（MRC），最优地组合接收到的信号，其中各信号是以正比于其信噪比加权的。

接收多样性不要求符合一个标准。

在发送侧多样性方面，以不同编码方式的同一信号的各拷贝是通过发送天线发送的。空间-时间编码用于发送多样性，其中信号的多个拷贝是从不同天线在不同时间发送的。Alamouti 开发了有两个发送和两个接收天线的一种两分支发送多样性方案[7]。针对多天线开发了伪-Alamouti 编码方案。

2. 波束形成

波束形成是这样一项技术，为一名用户创建一个定向辐射模式，由此降低干扰并增加天线增益。最终目标是增加接收侧的 SNR。

存在两种不同的波束形成技术：

- 切换式波束形成基于相阵天线，有许多固定的预定义辐射模式。辐射模式被选作蜂窝要求的一个函数（即用户的位置），且如果条件改变，则辐射模式也改变。
- 自适应波束形成法是基于自适应阵天线的，能够作为用户位置的一个函数调整辐射模式。采用自适应波束形成法，就可由对应于干扰信号的零的辐射模式，由此在接收侧优化 SNR。

图 1.39 给出切换式和自适应波束形成法的两个例子。

3. 空分复用

空分复用的目标是增加数据速率，而不是改进发送质量。通过分离的天线传输不同流的方法，比特率以因子 m 倍得以提高。一般而言，空分复用要求传播路径方面的低相关，这意味着矩阵 H 是满秩的（即行向量是线性不相关的）。

通过使用如下不同方法，在接收侧对流进行解耦：

- 开环：除数据流外，为信道估计发送一个已知序列。接收器可应用干扰消除技术。
- 闭环：为解耦传播路径，从接收器向发送器发送称作信道状态信息（CSI）的一条反馈信息。依据估计的信道矩阵，在发送侧应用一个预编码矩阵 $\boldsymbol{W}$。图

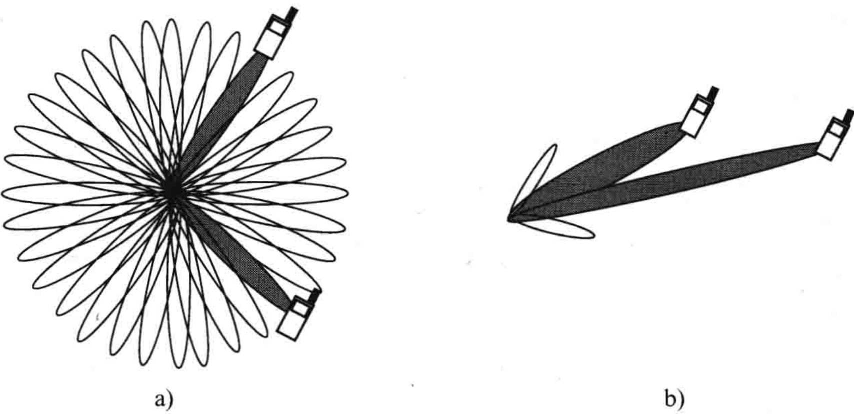


图 1.39 切换式和自适应波束形成法

a）切换式波束形成法 b）自适应波束形成法

1.40 给出一个例子，其中信道矩阵 $\boldsymbol{H}$ 在特征值（$\boldsymbol{H}=\boldsymbol{U\Sigma V}^{-1}$，其中$\boldsymbol{\Sigma}$ 是对角特征值矩阵,$\boldsymbol{U}^{-1}\boldsymbol{U}=\boldsymbol{I}$ 和 $\boldsymbol{V}^{-1}\boldsymbol{V}=\boldsymbol{I}$) 上分解。在这种情形中,预编码矩阵是 $\boldsymbol{W}=\boldsymbol{V}$。在接收侧,通过应用 $\boldsymbol{U}^{-1}$，传播路径被完美解耦。事实上，在第 i 个天线上接收的信号是 $y_j=\sigma_j s_j$。

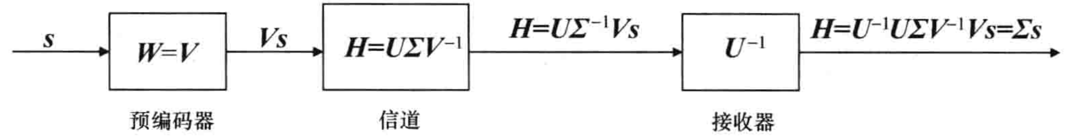


图 1.40 闭环空分复用的例子

正确的 MIMO 技术选择强依赖于信道估计。如果信道矩阵 $\boldsymbol{H}$ 是低秩的（即移动信道），那么使用多样性技术；如果信道矩阵 $\boldsymbol{H}$ 是高秩的（即静态信道），那么对等于矩阵秩的多个空间流首选空分复用。

4. 协作的 MIMO（多用户 MIMO）

在多用户 MIMO（MU-MIMO）中，思路是不同的特定流属于不同用户。在上行链路中，这项技术是有用的，因为它仅需要一个发送天线。

1.2.6.5 LTE 无线电接口

LTE 是以 TDD 和 FDD 模式规范的，具有可伸缩的带宽。规范的带宽是以 MHz 为单位的：1.4、3、5、10、15 和 20。LTE FDD 的一些可能频带列于表 1.6 中。LTE TDD 的一些可能频带列于表 1.7 中。

在时域中，以 TDD 和 FDD 模式定义一个 10ms 的帧，时槽为 0.5ms。同样定义了 1ms 的一个子帧，这是发送时间间隔（TTI）。为满足负载需求，在 TDD 中动态地改变上行链路和下行链路分配是可能的。在下行链路中，多址技术是 OFDMA，在上行链路中是 SC-FDMA，都基于 15kHz 的子载波间隙，不管信道带宽为何。子

载波数量从 1.4MHz 信道的 72 个变化到 20MHz 信道的 1200 个。

表 1.6　LTE FDD 的频带

频　　带	上行链路/MHz	下行链路/MHz
2100	1920 ~ 1980	2110 ~ 2170
1900	1850 ~ 1910	1930 ~ 1990
1800	1710 ~ 1785	1805 ~ 1880
1700/2100	1710 ~ 1755	2110 ~ 2155
850	824 ~ 849	869 ~ 894
800	830 ~ 840	875 ~ 885
2600	2500 ~ 2570	2620 ~ 2690
900	880 ~ 915	925 ~ 960
1700	1750 ~ 1785	1845 ~ 1880
1700/2100	1710 ~ 1770	2110 ~ 2170
1500	1427.9 ~ 1452.9	1475.9 ~ 1500.9
US700	698 ~ 716	728 ~ 746
US700	777 ~ 787	746 ~ 756
US700	788 ~ 798	758 ~ 768
US700	704 ~ 716	734 ~ 746
日本 800	815 ~ 830	860 ~ 875
日本 800	830 ~ 845	875 ~ 890

表 1.7　LTE TDD 的频带

频　　带	上行链路和下行链路/MHz
UMTS TDD1	1900 ~ 1920
UMTS TDD2	2010 ~ 2025
US1900 UL	1850 ~ 1910
US1900 DL	1930 ~ 1990
US1900	1910 ~ 1930
2600	2570 ~ 2620
UMTS TDD	1880 ~ 1920
2300	2300 ~ 2400

原子无线电资源是资源单元，是一个子载波中的一个 OFDM 符号。无线电资源是物理资源块，在 0.5ms 的一个时槽中包括 12 个子载波。因此，一个物理资源块在 0.5ms 内占据 180MHz 带宽。这对下行链路（OFDMA）和上行链路（SC-FDMA）是有效的。但是，因为在 LTE 中 TTI 是 1ms，所以最小可分配资源在 1ms 的时间内是一个由 12 个子载波组成的一个群（180MHz）。图 1.41 给出在 1ms 的

TTI 内有 20 个时槽的帧、资源块和最小可分配资源。

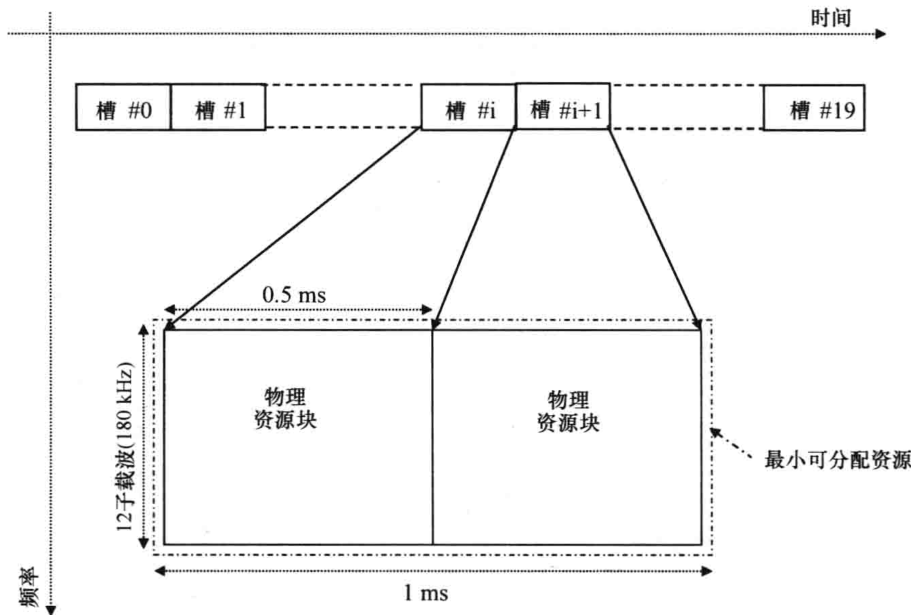


图 1.41 LTE 帧结构和资源块

表 1.8 给出在 1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz 和 20MHz 信道带宽的情形中不同数量子载波和资源块。表 1.9 和表 1.10 给出一些下行链路和上行链路调制和编码方案，以及作为带宽的一个函数的物理层处的相应比特率（以 Mbit/s 表示）。调制和编码方案可依据被分配的资源而变化，并就无线电信道条件是自适应的。MIMO用法可以是单流的（SS）或多流的（2×2 或 4×4）。在多流的情形中，使用空分复用将比特率成倍增加。

表 1.8 不同信道带宽的子载波数和资源块数

信道带宽/MHz	1.4	3	5	10	15	20
子载波数	72	180	300	600	900	1200
资源块数	6	15	25	50	75	100

表 1.9 具有相应比特率（Mbit/s）的下行链路调制和编码方案

调 制	编码率 k/n	MIMO 用法	带 宽					
			1.4MHz	3.0MHz	5.0MHz	10MHz	15MHz	20MHz
QPSK	1/2	SS	0.8	2.2	3.7	7.4	11.2	14.9
16-QAM	1/2	SS	1.5	4.4	7.4	14.9	22.4	29.9
16-QAM	3/4	SS	2.3	6.6	11.1	22.3	33.6	44.8
64-QAM	3/4	SS	3.5	9.9	16.6	33.5	50.4	67.2

（续）

调　制	编码率 k/n	MIMO 用法	带　宽					
			1.4MHz	3.0MHz	5.0MHz	10MHz	15MHz	20MHz
64-QAM	1	SS	4.6	13.2	22.2	44.7	67.2	89.7
64-QAM	3/4	2×2	6.6	18.9	31.9	64.3	96.7	129.1
64-QAM	1	2×2	8.8	25.3	42.5	85.7	128.9	172.1
64-QAM	1	4×4	16.6	47.7	80.3	161.9	243.5	325.1

表 1.10　具有相应比特率（Mbit/s）的上行链路调制和编码方案

调　制	编码率 k/n	MIMO 用法	带　宽					
			1.4MHz	3.0MHz	5.0MHz	10MHz	15MHz	20MHz
QPSK	1/2	SS	0.9	2.2	3.6	7.2	10.8	14.4
16-QAM	1/2	SS	1.7	4.3	7.2	14.4	21.6	28.8
16-QAM	3/4	SS	2.6	6.5	10.8	21.6	32.4	43.2
16-QAM	1	SS	3.5	8.6	14.4	28.8	43.2	57.6
64-QAM	3/4	SS	3.9	9.7	16.2	32.4	48.6	64.8
64-QAM	1	SS	5.2	13.0	21.6	43.2	64.8	86.4

1.2.6.6　LTE 物理、传输和逻辑信道

图 1.42 给出用户和控制平面的 LTE 无线电协议栈。用户和控制平面的无线电协议栈包括物理层、介质访问控制（Medium Access Control，MAC）、无线电链路控制（RLC）和分组数据汇聚协议（Packet Data Convergence Protocol，PDCP）。对于控制平面，无线电资源控制（RRC）位于 PDCP 上面。物理层负责所有的无线电发送功能。

MAC、RLC 和 PDCP 是层 2 协议。MAC 将来自一个或多个逻辑信道的分组数据单元（Packet Data Unit，PDU）复用到一个传输层。RLC 在无线电接口上为用户和控制数据提供链路控制。PDCP 以无线电承载的形式向控制平面的 RRC 和用户平面的 IP 层提供服务。无线电承载是在无线电接口之上用来交付控制平面和用户平面的服务。RRC 负责在移动站和演进的节点 B 之间的层 3 信令交换。

逻辑信道是从 MAC 层向高层提供的资源，由其信息内容的特性所刻画；它们携带与用户和控制平面有关的信息。逻辑信道有：

- 广播控制信道（BCCH）：在下行链路中，广播系统信息。
- 寻呼控制信道（PCCH）：在下行链路中，承载寻呼（信息）。
- 公共控制信道（CCCH）：上行链路和下行链路，用来在 MS 和 eNB 之间发送无线电资源控制（RRC）初始双向信令。
- 专用控制信道（DCCH）：上行链路和下行链路，用来在 MS 和 eNB 之间发

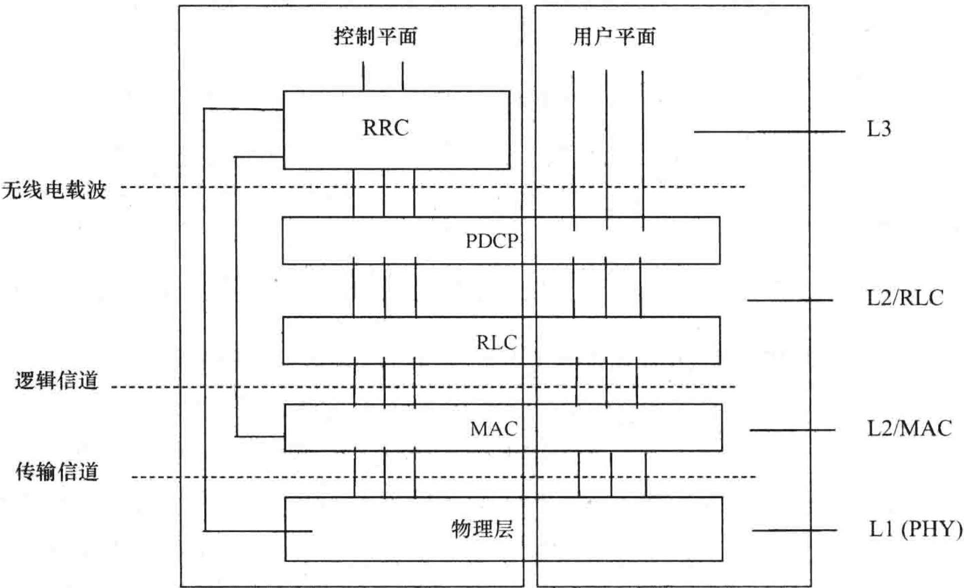


图 1.42 用户和控制平面的 LTE 无线电协议栈

送 RRC 信令。

- 专用控制信道（DTCH）：上行链路和下行链路，专用于用户数据传输。
- 组播控制信道（MCCH）：点到多点，下行链路，用于组播控制信息。
- 组播流量信道（MTCH）：点到多点，下行链路，用于组播流量。

传输信道是从物理层提供给 MAC 层的资源。LTE 中的传输信道是共享信道：没有专用的传输信道。传输信道有：

- 广播信道（BCH）：在下行链路中，承载部分系统信息（SI）；附加 SI 块被映射在 DL-SCH 中。
- 寻呼信道（PCH）：在下行链路中，携带寻呼信息。
- 下行链路共享信道（DL-SCH）：是下行链路中最重要的资源。携带数据（DTCH）和信令（BCCH、CCCH 和 DCCH）。也可携带组播信息。支持混合自动重复请求（HARQ）、动态分组调度、自适应调制和编码。
- 组播信道（MCH）：下行链路，携带组播信息。
- 随机访问信道（RACH）：上行链路，在 MS 和 eNB 之间携带控制信息。容易遇到冲突。
- 上行链路共享信道（UL-SCH）：是上行链路中的最重要资源。携带数据（DTCH）和信令（CCCH 和 DCCH），支持 HARQ、动态分组调度、自适应调制和编码。

物理信道是在无线电接口之上用于传输的资源。物理信道有：

- 物理广播信道（PBCH）：携带来自 BCH 的主信息块（MIB）。在 LTE 中，

MIB 包含非常有限的信息，像蜂窝带宽、物理混合 ARQ 指示器信道（PHICH）结构、系统帧数（SFN）。

• 物理 HARQ 指示器信道（PHICH）：下行链路，发送与在物理上行链路共享信道（PUSCH）的上行链路传输有关的 ACK/NACK。每个 PHICH 寻址到一个 MS。

• 物理下行链路共享信道（PDSCH）：是最重要的下行链路资源，并携带数据和信令。是在一个 TTI 基础（1ms）上分配给移动站的。MAC 调度器指派信道编码、调制、子载波分配以及对 PDCCH 中的 DL 传播进行寻址。

• 物理下行链路控制信道（PDCCH）：下行链路，用于在 PDSCH（下行链路）和 PUSCH/PUCCH（上行链路）中指派资源。

• 物理控制格式指示器信道（PCFICH）：下行链路，指示在相同子帧中用于 PDCCH 的控制域的维数，是以 OFDM 符号数为单位的。

• 物理组播信道（PMCH）：下行链路，用于组播。

• 物理上行链路共享信道（PUSCH）：是一个蜂窝中的最重要的上行链路资源，并携带数据和信令。是在一个 TTI 基础上（1ms）分配给移动站的，MAC 调度器依据每个 MS 指派信道代码和调制，并分配子载波。

• 物理上行链路控制信道（PUCCH）：携带一个信道质量指示器（CQI）和 ACK/NACK。

• 物理随机访问信道（PRACH）：在随机访问过程中携带随机访问前导码。

图 1.43 给出在逻辑、传输和物理层处的下行链路和上行链路信道及其映射。在图中也给出如下信号：

• 主同步信号（PSS）和辅助同步信号（SSS）：这两者都在下行链路中，由 MS 用于蜂窝搜索和识别。它们一起携带蜂窝标识符（ID）。

• 参考信号（RS）：用于上行链路和下行链路的信道估计。

当一个 MS 打开时，它通过同步信号搜索并选择一个蜂窝，之后从 PBCH 推导得到系统信息，执行随机访问过程，并发送信令注册到网络和建立默认的载波（bearer）。

通过信道反馈报告过程，实施无线电条件中下行链路无线电资源的指派。在 eNB 发送过程中，MS 测量下行链路，并将一个反馈发送到 eNB，可包括如下参数：

• 信道质量指示器（CQI）：MS 指示发送格式（调制和编码方案和传输块尺寸，或 TBS），这是移动站在下一个 TTI 中以小于 10% 的一个块错误率（BLER）接收的格式。

• 秩指示器（RI）：对于 MIMO，指示所估计信道矩阵 H 的秩。等于可用空间流数。它与整个系统的带宽有关。

• 预编码矩阵指示器（PMI）：指示在一个码本中的首选预编码矩阵。

表 1.11 给出针对上行链路反馈所考虑的参数。基于反馈，eNB 将下行链路资源指派给 MS。

表 1.11　上行链路反馈

		频率选择性	在开环中可用	在闭环中可用
PMI	在码本中 MIMO 预编码矩阵的索引	是	否	是
RI	支持数据流的 MIMO 数量	否	是	是
CQI	支持的发送格式	是	是	是

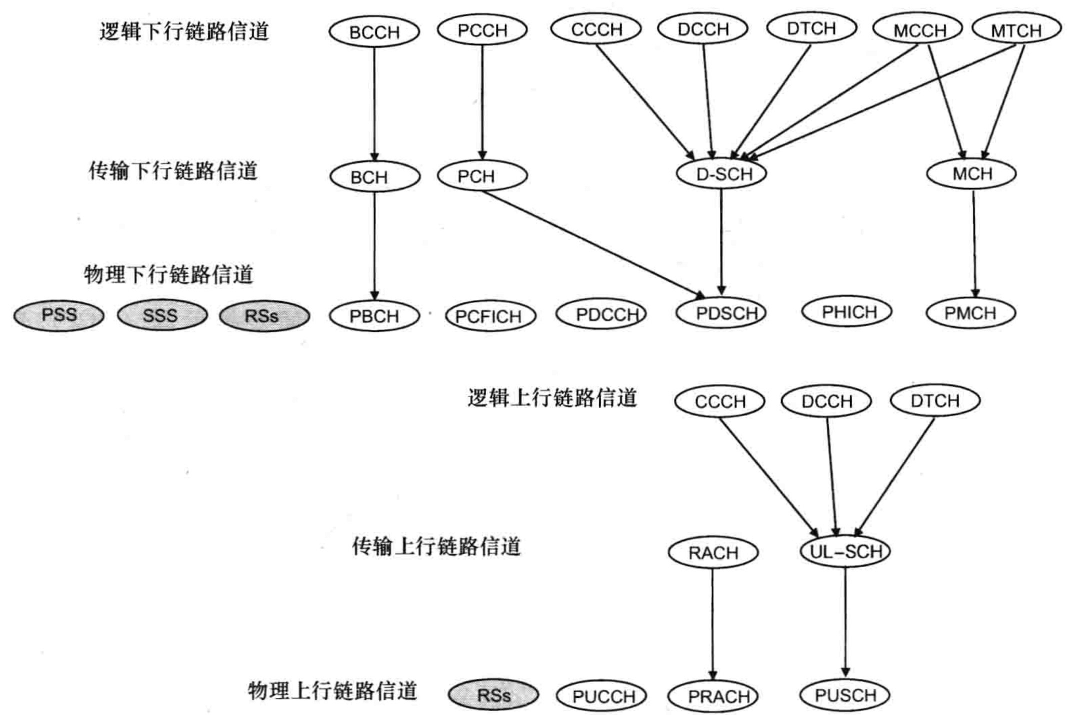


图 1.43　在逻辑、传输和物理层处的下行链路和上行链路

图 1.44 给出同步和系统信息获取、随机访问、冲突解决、NAS 消息传递、下行链路数据传递和上行链路数据传递各阶段过程中，采用相应物理信道，在一台 MS 和一个 eNB 之间交换的消息。

1.2.7　LTE 高级版本

LTE 高级版本是 LTE 演进方案，是从 3GPP 发行版本 10 开始标准化的。该项工作目标是使发行版本 10 与 LTE 为一个 IMT 高级系统建立的需求相一致。表 1.12 给出一个 4G 系统的 IMT 需求和 LTE 发行版本 8 与 10 的相应性能之间的比较[8]。

在 LTE 高级方案中引入的主要无线电特征有：

- 载波汇聚：汇聚两个或多个载波，每个载波的带宽可高达 20MHz。连续载

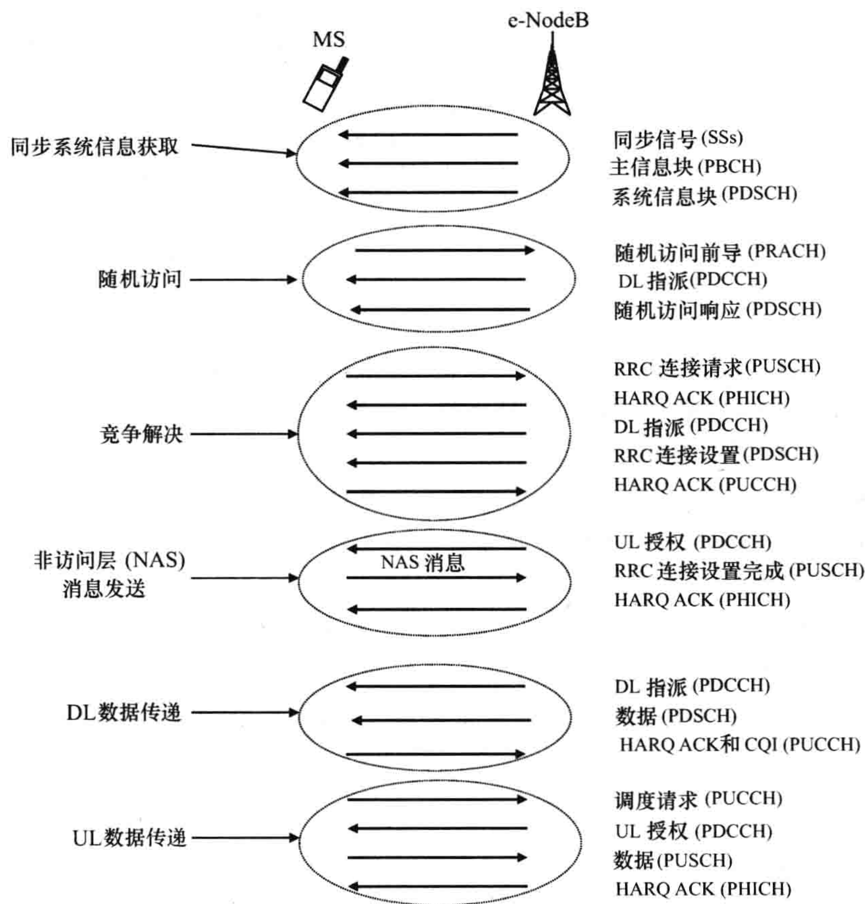


图 1.44　LTE 无线电发送的例子

波和非连续载波均可汇聚，高达 100MHz。

- 扩展 MIMO 配置：在下行链路中考虑至多 8×8 个 MIMO 的配置；在上行链路中考虑至多 4×4 个 MIMO 的配置。

表 1.12　IMT 要求和 LTE 发行版本 8 和 10 的性能

	IMT 要求	LTE 发行版本 8	LTE 发行版本 10
峰值 DL 数据速率	1Gbit/s	~325Mbit/s	>1Gbit/s
峰值 UL 数据速率	500Mbit/s	~85Mbit/s	>500Mbit/s
控制平面延迟	50ms	50ms	50ms

- 协同的多点（CoMP）发送和接收：这项特征改善高数据速率范围和蜂窝-边缘吞吐量。下行链路协同的多点发送，在多个地理上分散的发送点间引入动态协同。
- 中继：用来改善高数据速率覆盖和蜂窝-边缘吞吐量，并在新区域提供覆

盖。中继节点是通过一个供体蜂窝（donor cell）以无线方式连接到一个无线电接入网络的。存在两个双向无线电链路/接口：接入链路（MS 和中继节点（RN）之间）和回传（backhaul）链路（RN 和 eNB 之间）。中继可以是带内的（如果接入链路和回传链路使用相同的频带）和带外的（如果接入和回传链路使用不同的频带）。

1.3 无线网络

无线网络是在移动终端和第一个接入网络节点之间有一条无线电连接的接入网络。一般而言，它们不处理用户移动性，因此不是无线电移动网络。

无线网络可归组如下：

- 无线个域网（WPAN）：是非常短距离的网络，用于低或高数据速率发送。
- 无线局域网（WLAN）：是带有一个无线电接口的局域网。它们范围是数十或数百米。
- 无线城域网（WMAN）：是具有数千米量级覆盖范围的网络。它们主要用于无线本地环路连接。

图 1.45 给出 WPAN、WLAN 和 WMAN 的不同覆盖范围。

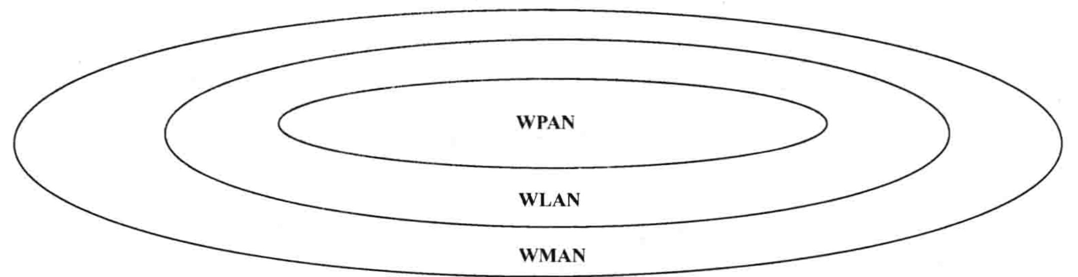


图 1.45 WPAN、WLAN 和 WMAN 的覆盖范围

无线网络在覆盖范围、所支持的比特速率、标准等方面是不同的。图 1.46 给出无线网络的主要 IEEE 标准。

1.3.1 WLAN

一个无线局域网（WLAN）是在用户和网络之间有一条无线连接的一个局域网。WLAN 可被用于室内区域（即办公室、家庭、宾馆）或有限的室外区域（即园区）。WLAN 的主要标准是 IEEE 802.11，但也有 HiperLAN，这是欧洲的 WLAN 标准。

HiperLAN 为局部无线 IP 传输提供一种解决方案，基于移频键控（FSK）调制定义一个物理层，并运行在 5GHz 左右的无许可证频带。HiperLAN/2 扩展第一种

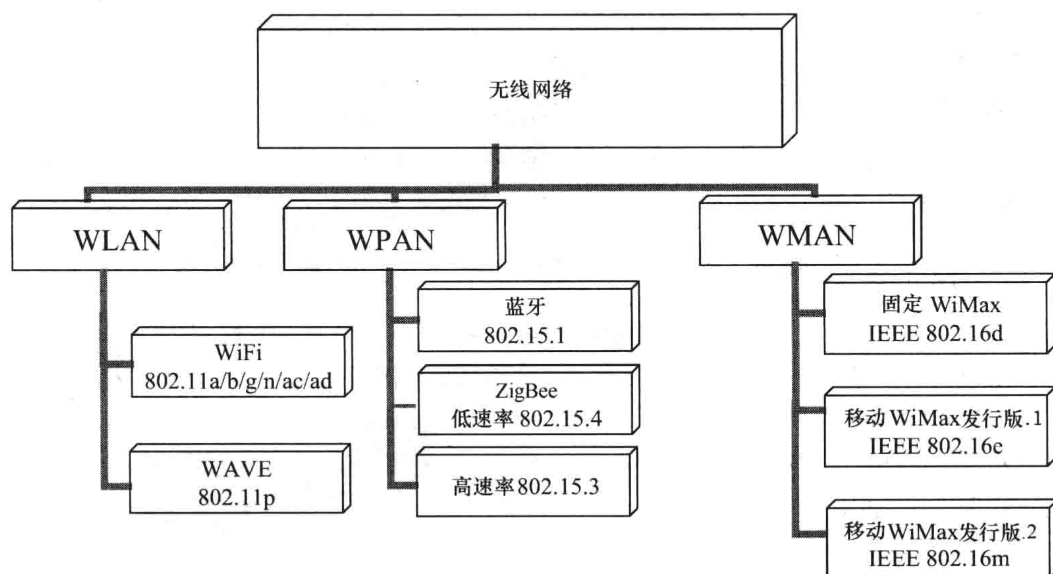


图 1.46　无线网络的主要 IEEE 标准

类型，是针对点到点和点到多点连接提出的。它使用 OFDM 调制、TDD 双工和 TDMA多址。它也提供服务质量（QoS）。由管理机构确定最大功率限制。

IEEE 802.11 定义两种网络拓扑：

- 基础设施：WLAN 用来扩展一个固定网络基础设施（即 LAN、ADSL 或非对称数字用户线路）。
- 自组织拓扑（Ad hoc）：各站通过一条直接链路通信，形成一个自组织网络。

图 1.47 给出基础设施和自组织拓扑的一个例子。

基础设施网络由连接到网络的一个接入点（AP）和一组无线站（WS）组成。AP 与关联的各 WS 形成一个基本服务集（BSS）。形成单个网络的两个或多个 BSS 的一个集合，是一个扩展服务集（ESS）。一个自组织无线网络形成一个独立基本服务集（IBSS）。

1.3.1.1　IEEE 802.11a、b 和 g

IEEE 802.11 为不同物理层 b、a 和 g 定义一个共同的多接入控制。表 1.13 给出 b、a 和 g 发送标准的主要特征[9]。第一行表明 b 和 a 标准是在 1999 年得到批准的，而 g 标准是在 2003 年出现的，并包括 b。IEEE 802.11b 和 g 工作在无许可证的 2.4GHz 频率，而 IEEE 802.11a 使用无许可证的 5GHz 频带。在物理层，IEEE 802.11b 的最大比特率是 11Mbit/s，IEEE 802.11a 和 g 的最大比特率是 54Mbit/s。无线电信道大约为 20MHz 宽。所有的 WLAN 标准实现一种链路适配机制，它调整发送格式（调制和编码）适应估计得到的无线电链路质量。

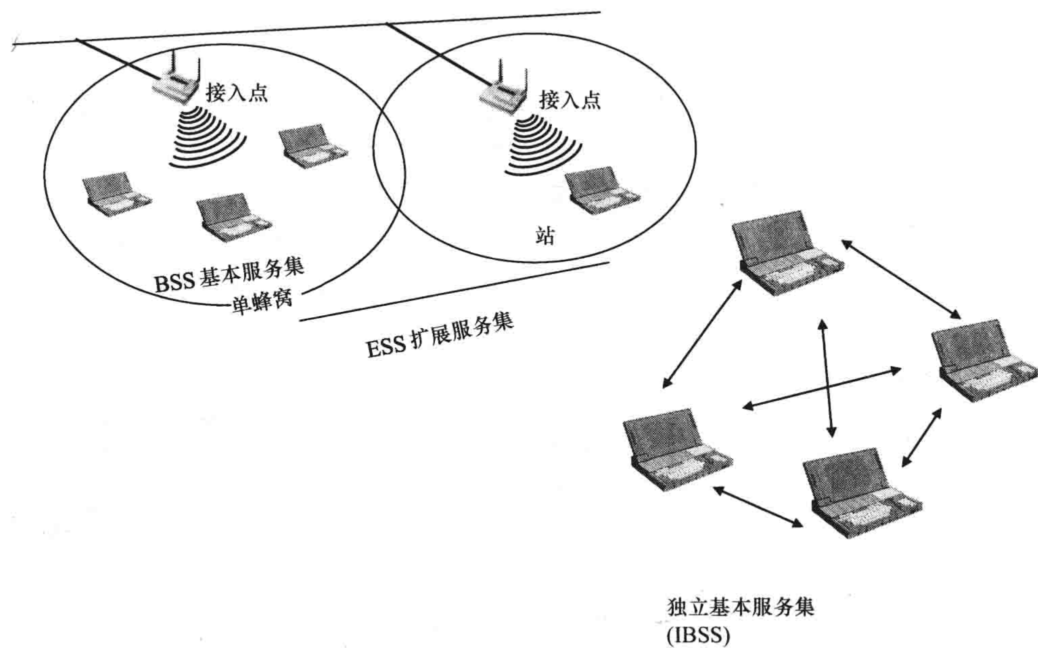


图 1.47 基础设施和自组织模式的例子

表 1.13 b、a 和 g 发送标准的主要特征

	802.11b	802.11a	802.11g
标准批准	1999 年 7 月	1999 年 7 月	2003 年 6 月
最大物理层比特率/(Mbit/s)	11	54	54
调制	CCK	OFDM	OFDM 和 CCK
PHY 比特率/(Mbit/s)	1、2、5.5、11	6、9、12、18、24、36、48、54	CCK：1、2、5.5、11 OFDM：6、9、12、18、24、36、48、54
频率/GHz	2.4 ~ 2.497	5.15 ~ 5.35 5.425 ~ 5.675 5.725 ~ 5.875	2.4 ~ 2.497

表 1.14 IEEE 802.11b 的低比特率编码

比特率/(Mbit/s)	编码长度	调制
1	11	BPSK
2	11	QPSK

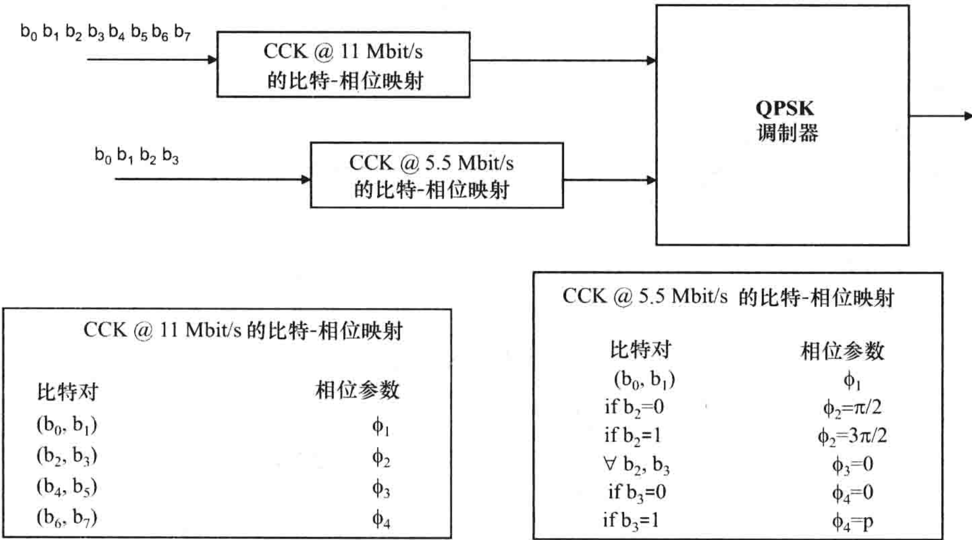
IEEE 802.11b 使用直接序列扩频（DSSS），速度为 1Mbit/s、2Mbit/s、5.5Mbit/s 和 11Mbit/s。表 1.14 给出通过改变扩频的调制（BPSK 或 QPSK）和维

护二进制 Barker 码得到 1Mbit/s 和 2Mbit/s。Barker 码是如下 11 个分片的扩频序列：1-111-1111-1-1-1。

互补码键法（CCK）是为 5.5Mbit/s 和 11Mbit/s 采用的编码技术，其原理如图 1.48 所示。CCK 码字是：

$$\mathrm{CCK}_{码字} = \{ e^{j(\phi_1+\phi_2+\phi_3+\phi_4)}, e^{j(\phi_1+\phi_3+\phi_4)}, e^{j(\phi_1+\phi_2\cdot\phi_4)}, -e^{j(\phi_1+\phi_4)}, e^{j(\phi_1+\phi_2+\phi_3)}, e^{j(\phi_1+\phi_3)}, -e^{j(\phi_1+\phi_2)}, e^{j(\phi_1)} \} \tag{1.11}$$

不同的比特-相位映射用于 5.5Mbit/s 和 11Mbit/s 比特率。在第一种情形中，4 比特被映射到 4 个相位得到 CCK 码字；在第二种情形中，8 比特被映射到 4 个相位得到 CCK 码字。码字识别 QPSK 调制符号。



$$\mathrm{CCK}_{码字} = \{ e^{j(\phi_1+\phi_2+\phi_3+\phi_4)}, e^{j(\phi_1+\phi_3+\phi_4)}, e^{j(\phi_1+\phi_2\cdot\phi_4)}, -e^{j(\phi_1+\phi_4)}, e^{j(\phi_1+\phi_2+\phi_3)}, e^{j(\phi_1+\phi_3)}, -e^{j(\phi_1+\phi_2)}, e^{j(\phi_1)} \}$$

图 1.48　IEEE 802.11b 的高比特率（5.5Mbit/s 和 11Mbit/s）编码

表 1.15　IEEE 802.11a 和 IEEE 802.11g 调制和编码方案

PHY 比特率/(Mbit/s)	编　码　率	调　制
6	1/2	BPSK
9	3/4	BPSK
12	1/2	QPSK
18	3/4	16-QAM
24	1/2	16-QAM
36	3/4	16-QAM
48	2/3	64-QAM
54	3/4	64-QAM

IEEE 802.11 中的无线电信道大约为20MHz 宽，且一般而言没有隔离，而是重叠的。这导致较差的无线电链路，接下来导致每用户的低比特率。IEEE 802.11g 和 IEEE 802.11a 引入正交频分复用（OFDM），满足发送格式（调制和编码）适配于无线电链路质量。对于两个标准 g 和 a，调制和编码方案是相同的，见表 1.15。

1.3.1.2 IEEE 802.11 介质访问控制

在基础设施模式中，无线站（WS）必须与一个公共时钟同步，该时钟是从接入点（AP）分发的。AP 在目标信标发送（TBTT）间隔发送信标帧，其中它拷贝其定时器（时间戳）的值。BSS 的各站以那个值更新其定时器。在信标帧中广播的其他值是：

- 信标间隔；
- 服务集标识符（SSId）；可配置 AP 不发送 SSId；
- 所支持的速率；
- 物理层参数集；
- 流量信息地图：携带在下一个 TBTT 有数据要发送的各 WS 的标识符，并用于功率节省。

IEEE 802.11 中的 MAC 层包括三项功能：分布式协同功能（DCF）（DCF 请求发送/清除发送（DCF-RTS/CTS））和点协同功能（PCF）。DCF 在 IEEE 802.11 是必备的。它使用载波侦听多路访问——冲突避免（CSMA/CA）。在发送之前，每个 WS 侦听介质；如果在一个确定的间隔（称作分布式帧间间隙（DIFS））内感知到信道是空闲的，那么该站发送；否则它执行一个回退过程，通过一个随机函数计算一个回退时间。回退时间如下计算：

$$\text{Backoff_time} = \text{Random}(\,) \times \text{slot_time} \tag{1.12}$$

式（1.12）假定，依据一个均匀分布，数值在区间［0，CW］中，其中 CW 是冲突窗口。时间槽是严格依赖于物理层的一个间隔（即对于 802.11b 是 20μs，对于 802.11a 是 9μs）。一旦无线站感知到介质是空闲的，它就开始减少回退定时器，并且如果无线电变忙，则冻结向下计数（countdown）。如果计数器到达值零，则 WS 在一个 DIFS 间侦测到介质空闲之后，发送 MAC 服务数据单元（MSDU）。如果 MSDU 被正确接收，则通过一条 ACK 消息加以确认。如果在一个短帧间间隙（SIFS）中没有接收到 ACK，则重发 MSDU。SIFS 比 DIFS 短。图 1.49 给出带有两个无线站的 CSMA/CA 机制的例子。

IEEE 802.11 MAC 提供的一项可选功能是一个分布式协同功能——请求发送/清除发送（DCF-RTS/CTS），也称作一个虚拟载波侦测（VCS）。虚拟载波侦测解决“隐藏节点”问题，如图 1.50 所示。

在图中，WS A 和 B 看到接入点，但 A 不能看到 B，反之亦然。A 是 B 的一个隐藏节点，且 B 是 A 的一个隐藏节点。通过引入分组的请求发送（RTS）和清除发送（CTS）实现的两次握手机制，解决了隐藏节点问题。采用虚拟载波侦听，无

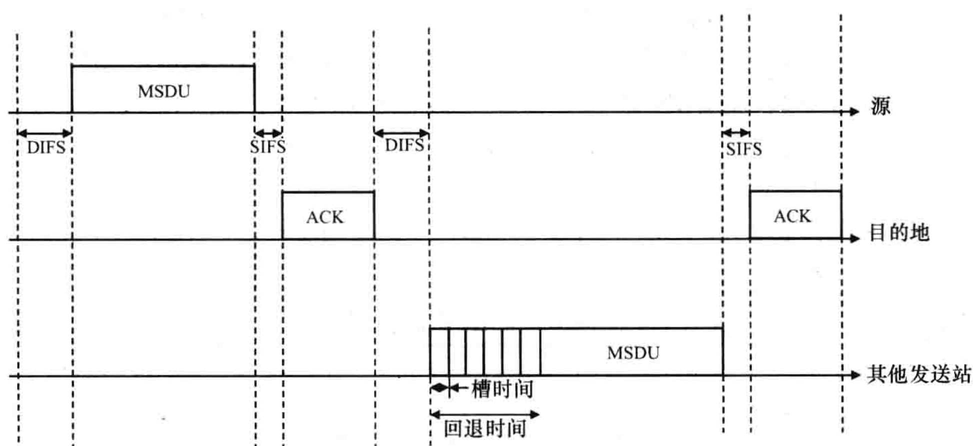


图 1.49 有两个无线站的 CSMA/CA 机制例子

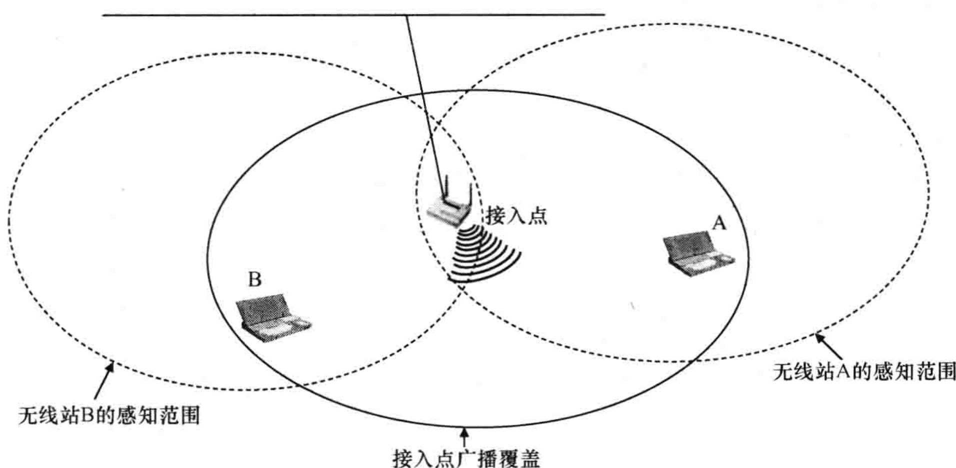


图 1.50 隐藏节点问题

线站 A 遵循 DCF 规则，发送一条 RTS 分组。RTS 包含源地址、目的地址和以 μs 表示的发送时长。接入点通过一条清除发送（CTS）分组来确认接收到 RTS，其中它复制所接收 RTS 的时长字段，减去一个 SIFS 的值以及发送 CTS 帧所需时间的值：

$$Duration_Rx = Duration_Tx - t(CTS) - SIFS$$

CTS 是从 AP 范围内的所有站接收到的。在接收到 RTS 或 CTS 分组之后，一个站将网络分配向量（NAV）定制器设置为所接收分组中包含的值“duration”（时长），直到 NAV 达到值零之前，它将不再尝试访问介质。采用虚拟载波侦听，冲突仅发送在 RTS/CTS 分组间，而这种报文是非常短的。

在 IEEE 802.11 中，点协同功能（PCF）是可选的，并仅在基础设施模式中提供。在这种情形中，访问受到 AP 的控制，AP 作为点协同器（PC）。无冲突发送在称作无冲突时段（CFP）的一个时段中得到支持。CFP 以一个信标帧开始，且与冲

突时段（CP）是交错的，其中访问受到 DCF 的监管。CFP 和 CP 的交错情况如图 1.51所示。引入一个新的时间间隔 PCF 帧间间隙（PIFS）来隔开 CP 的结束部分和信标发送，PIFS 比 DIFS 要小。

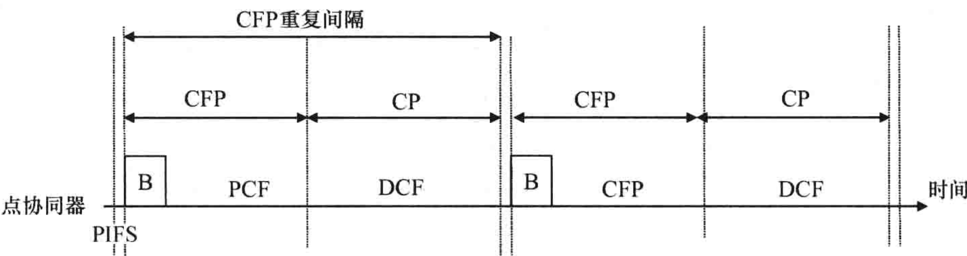


图 1.51　DCF 和 PCF 的交错情况

1.3.1.3　IEEE 802.11n

2009 年批准了 IEEE 802.11n 最终标准版本。它向 MAC 层引入增强措施，来减少延迟，向物理层引入增强措施来提高比特率。主要的物理层增强措施有：

- 双载波；
- MIMO。

IEEE 802.11n 中可用的最大物理比特率是 600Mbit/s，使用一条 40MHz 宽信道和 4 条空分（spatial）流。在 IEEE 802.11n 中定义了 31 个调制和编码方案（MCS），表 1.16 中给出其中一些方案。如果保护间隔（GI）（是循环前缀的时长）是 400 或 800ns，则比特率发生变化。

表 1.16　IEEE 802.11n 调制和编码方案，带有载波汇聚功能

调　制	编　码　率	空分流数量	PHY 比特率/(Mbit/s)			
			20MHz 信道		40MHz 信道	
			GI 800ns	GI 400ns	GI 800ns	GI 400ns
BPSK	1/2	1	6.5	7.2	13.5	15
QPSK	1/2	1	13	14.4	27	30
QPSK	3/4	1	19.5	21.7	40.5	45
16-QAM	1/2	1	26	28.9	54	60
16-QAM	3/4	1	39	43.3	81	90
64-QAM	2/3	1	52	57.8	108	120
64-QAM	3/4	1	58.5	65	121.5	135
64-QAM	5/6	1	65	72.2	135	150
BPSK	1/2	2	13	14.4	27	30
QPSK	1/2	2	26	28.9	54	60
QPSK	3/4	2	39	43.3	81	90

（续）

调　制	编　码　率	空分流数量	PHY 比特率/(Mbit/s)			
			20MHz 信道		40MHz 信道	
			GI 800ns	GI 400ns	GI 800ns	GI 400ns
16-QAM	1/2	2	52	57.8	108	120
16-QAM	3/4	2	78	86.7	162	180
64-QAM	2/3	2	104	115.6	216	240
64-QAM	3/4	2	117	130	243	270
64-QAM	5/6	2	130	144.4	270	300
BPSK	1/2	3	19.5	21.7	40.5	45
……						
64-QAM	5/6	4	260	288，9	540	600

正在开发的有两个标准，IEEE 802.11ac 和 IEEE 802.11ad。IEEE 802.11ac 和 IEEE 802.11ad 分别在5GHz 和60GHz 带宽处提供高达 Gbit/s 的高吞吐量。

1.3.1.4　IEEE 802.11p

IEEE 802.11p 为 IEEE 802.11 标准带来一些改变，以便加快链路建立和自组织模式操作。除了频率外，物理层保持几乎没做改变，频谱是 5.9GHz。IEEE 802.11p 被看作车辆环境中的无线接入（WAVE），并可以是智能交通系统（ITS）的无线接口。

就功能需求而言，ITS 架构在如下各方面提供一个完全的交互：

- 服务中心（管理 ITS 应用）是以 IP 方式互连到其他实体的。
- 下一代路边基础设施，能够与已经部署的基础设施互联，被连接到服务中心，并实现与车辆的中短距离无线通信。
- 车辆基础设施，能够支持与其他车辆和路边基础设施的通信。
- 司机或乘客使用的个人设备，与 ITS 世界通信。这些单元是互连的，并通过一个无线通信网络集合交换数据和信息。

1.3.2　WMAN

一个无线城域网（WMAN）是有一个宽覆盖范围（像一个城域）的无线网络。WMAN 的主要标准是 IEEE 802.16，有两个版本：

- IEEE 802.16d，是在2004 年标准化的，称作固定 WiMax；
- IEEE 802.16e，在 2005 年出现，作为 IEEE 802.16d 的修正版本。即使 IEEE 802.16e 没有自动地蕴涵移动性，它也经常被表示为移动 WiMax。

术语 WiMAX 经常用来标识 IEEE 802.16 标准系统，但它来源于 WiMAX 论坛，这是基于认证并推广基于 IEEE 标准 802.16 之宽带无线产品的兼容性和互操作性的一个组织。

在许多国家，固定 WiMAX 工作在 3.5GHz 左右。固定 WiMAX 的一般特征有：

- 双工可以是 TDD 或 FDD；
- 物理层采用 OFDM 调制，在上行链路和下行链路采用 QPSK、16-QAM、64-QAM；
- 调制和编码方案的选择适配于无线信道条件；
- 带宽是变化的，但有 256 个子载波的固定数量；
- MAC 层是面向连接的，在上行链路和下行链路基于 TDMA。它支持服务质量（QoS）。

1.3.2.1 IEEE 802.16e

移动 WiMAX[10] 蕴涵着移动思想。在那种情形中，它必须包括移动性处理和切换的过程，并在第三代系统中得到采用。

移动 WiMAX 的网络架构如图 1.52 所示。它是一个全 IP 网络架构，支持 QoS。移动站（MS）通过一个标准无线电接口与一个移动 WiMAX 基站（BS）连接。BS 实现无线电覆盖，广播蜂窝参数，在上行链路上做测量，从各 MS 接收信道质量指

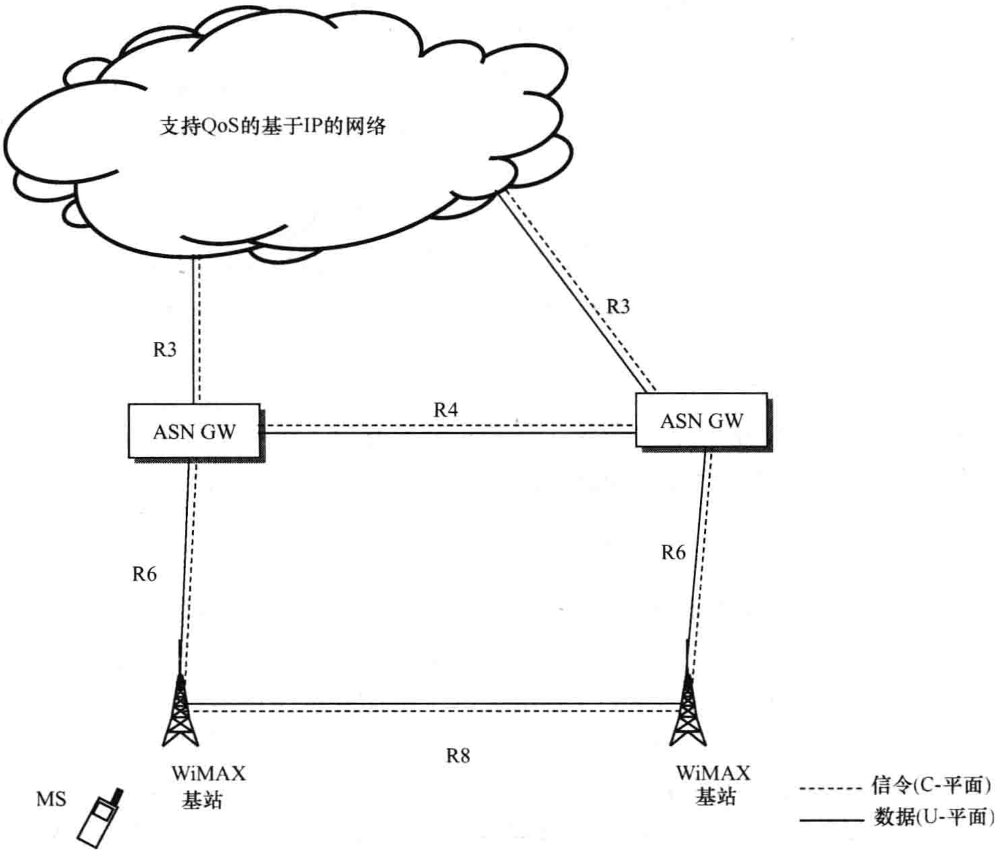


图 1.52 移动 WiMAX 网络架构

示器（CQI），并将无线电资源调度给移动用户。基站通过 R8 接口连接。移动 WiMAX 基站也通过 R6 接口连接到接入服务网关（ASN-GW），该网关管理用户和控制平面，并将 WiMAX 接入网络连接到基于 IP 的核心网络。ASN-GW 介入到注册、移动型管理、认证、寻呼、计费和服务流控制。

第一版 IEEE 802.16e（也称作移动 WiMAX 发行版本 1.0）的一般特点有[11]：

- 复用法是 TDD；
- 物理层采纳 OFDMA 多址，采用 QPSK、16-QAM 和 64-QAM 调制；
- 调制和编码方案的选择适配于无线电信道条件；
- 带宽是变化的，可以是 1.25、5、10 和 20MHz；
- 子载波间隙独立于带宽，是 10.94kHz；
- MAC 层是面向连接的，基于在一个给定时间中一个子载波群的指派。它支持服务质量（QoS），这对上行链路和下行链路都是有效的；
- 频率是有许可证的，在多数国家处于 3.4 ~ 3.6GHz 范围；
- 可使用 MIMO。

因为具有不同特点，所以移动 WiMAX 与固定 WiMAX 不是后向兼容的，即使对于固定应用，它也有良好的性能。表 1.17 给出在 1.25、5、10 和 20MHz 的信道带宽（BW）情形中不同的子载波数。

表 1.17　不同信道带宽下移动 WiMAX 的子载波数

系统 BW（MHz）	1.25	5	10	20
子载波数	128	512	1024	2048

移动 WiMAX 发行版本 1.0 的性能相当于 HSPA 的性能。2009 年出现了移动 WiMAX 的一个演进版本，也称作移动 WiMAX 发行版本 1.5。它引入一个演进的无线电接口，具有如下目标：

- 将 TDD 概要扩展到 FDD 成对频带；
- 组播/广播服务支持；
- 改进的 MAC 层效率；
- 新的 MIMO 配置，提高容量和蜂窝边缘吞吐量。

移动 WiMAX 发行版本 1.5 的性能相当于 HSPA + 的性能。

1.3.2.2　IEEE 802.16m

2011 年 IEEE 802.16m 标准，也称作移动 WiMAX 发行版本 2.0，得到批准。IEEE 802.16m 满足国际电信联盟（ITU）的国际移动电信（IMT）-高级（4G）系统的需求。它可运行在分配给移动或固定宽带服务的一个有许可证频谱内，例如：

- 450 ~ 470MHz；
- 698 ~ 960MHz，也确定可用于 IEEE 802.16e；

- 1710～2025MHz；
- 2110～2200MHz；
- 2300～2400MHz，也确定可用于 IEEE 802.16e；
- 2500～2690MHz，也确定可用于 IEEE 802.16e；
- 2400～3600MHz，也确定可用于 IEEE 802.16e。

IEEE 802.11m 后向兼容于 IEEE 802.11e，并为满足 IMT-高级系统的需求添加了一些特征，例如：

- 载波汇聚：可汇聚两个或多个载波（每个载波可有高达 20MHz 的频带），可汇聚连续的和非连续的载波；
- 扩展的 MIMO 配置：在下行链路中考虑高达 8×8 的 MIMO 配置；在上行链路中考虑高达 4×4 的 MIMO 配置；
- 多基站 MIMO：包括有不同基站间的下行链路协同发送。改进高数据率覆盖范围和蜂窝-边缘吞吐量；
- 中继：用来改进高数据率覆盖范围、蜂窝-边缘吞吐量，在新区域提供覆盖；
- 增强的组播和广播服务（E-MBS）：在组播连接上提供，改进功率节省模式中的性能和操作。

1.3.3　WPAN

一个无线个域网（WPAN）是具有非常短距离覆盖的一个无线网络。与 WPAN 有关的有许多标准，有许多性质，像频率、建立时间、比特率、节点数等。本节列出最常用的 WPAN，以及它们的主要特点。

1.3.3.1　无线电频率（射频）识别

射频识别系统由两个单元组成：

- 发射机应答器，或标签，放置在要加以识别的物件上；
- 阅读器，或检测器，能够阅读标签。

RFiD 标签可以是无源的，如果它们没有一块电池供电的话；有源的，如果由一块电池供电，用来馈入无线电通信部分；半无源的，如果配备一块电池，它馈入（例如）一个内存或一个板上传感器，但不用于无线电通信。

无源 RFiD 的耦合可以是：

- 感应性的，基于由阅读器产生的一个磁场感应产生一个电流；
- 反散射辐射，基于一个电磁波的发送，它部分地被反射，并最终被调制（调制的反散射辐射）。

RFiD 系统的频率范围可以是低、中或高频，见表 1.18 所示。RFiD 使用标签的不同频率、不同标准和不同分类。

表 1.18　RFiD 的频率范围、标准和主要应用

频　率	标　准	应　用
125.5kHz 134.2kHz	ISO 14223 ISO 11785 ISO 11784 ISO 18000-2	动物识别
13.553 ~ 13.567MHz	ISO 18092 ISO 14443 ISO 15693 ISO 18000-3	非接触式智能卡
433.05 ~ 434.79MHz	ISO 1800-7	远程控制（遥控）
868 ~ 870MHz（欧洲） 902-928MHz（美国） 960MHz（日本）	ISO 18000-6	物流和物体识别
2.4 ~ 2.483GHz	ISO 18000-4	数个系统，包括车辆识别（ISO 1800-4）

1.3.3.2　近场通信

近场通信（Near Field Communication，NFC）可被看作非接触式 RFiD 技术的一种演进技术。它可集成在一个蜂窝电话或一个 SIM 中，可以三种模式操作：

- 作为一个无源标签的模拟物。在这种情形中，蜂窝电话可成为一个徽章、一个车票、一个信用卡等；
- 作为一个标签阅读器；
- 为了交换数据，与另一台设备进行一条对等连接等。

NFC 工作在 13.56MHz 频率，具有数厘米的距离，基于 ISO 18092 标准，并与 ISO 14443 兼容。

2004 年 3 月成立 NFC 论坛，目标是确保设备之间最低限度的互操作，并开发没有包括在 ISO 标准中的规范。NFC 可被看作一个服务使能器，主要针对电子支付和移动支付。

1.3.3.3　蓝牙和 IEEE 802.15.1

蓝牙是作为一个工业标准诞生的，工作在 2.4GHz 工业、科学和医疗（ISM）频带，由爱立信倡议，之后由特殊兴趣组（SIG）开发的，这是来自索爱、IBM、Intel、东芝、诺基亚和其他社团于 1999 年建立的一个联盟。IEEE 802.15.1 标准于 2002 年发布，基于蓝牙 v1.1 规范。

蓝牙 v1.1 将频谱分成 1MHz 子频带，并使用跳频作为多址技术。调制是高斯频移键控。蓝牙范围处于数米或数十米的量级。

蓝牙设备能够创建成为一个微微网（piconet）的网络。在第一个阶段，称作查询，一台无线站作为主导者搜索在直接邻居范围内的其他设备，称作附属。之后跟着的是寻呼阶段，其中一个附属请求一条连接。主导者指派物理资源，像跳频和加密密钥。在一个微微网中设备间共享的物理比特率，在蓝牙 v1.1 中是 1Mbit/s。连接在一起的微微网形成一个分布网（scatternet）。在图 1.53 中，三个微微网形成一个分布网。

在蓝牙 v1.1 之后，标准化了其他版本。蓝牙 v1.2 包括对蓝牙 v1.1 的一些增强措施，像较快速的连接和发现，话音和音频质量的改进。蓝牙 v2.1 后向兼容于 v1.2，并将最大比特率增加到高达 3Mbit/s。蓝牙 v.3 用于高比特率，高达 24Mbit/s。在这种情形中，蓝牙链路用于连接建立，使用一条 WiFi 链路进行高比特率数据发送。蓝牙 v.4 是包含经典蓝牙、蓝牙高速度（基于 WiFi）和蓝牙低能耗的一个协议套件。蓝牙低能耗包括用于低功率消耗、大约 250kbit/s 的低比特率和短建立时间的一个新协议栈。

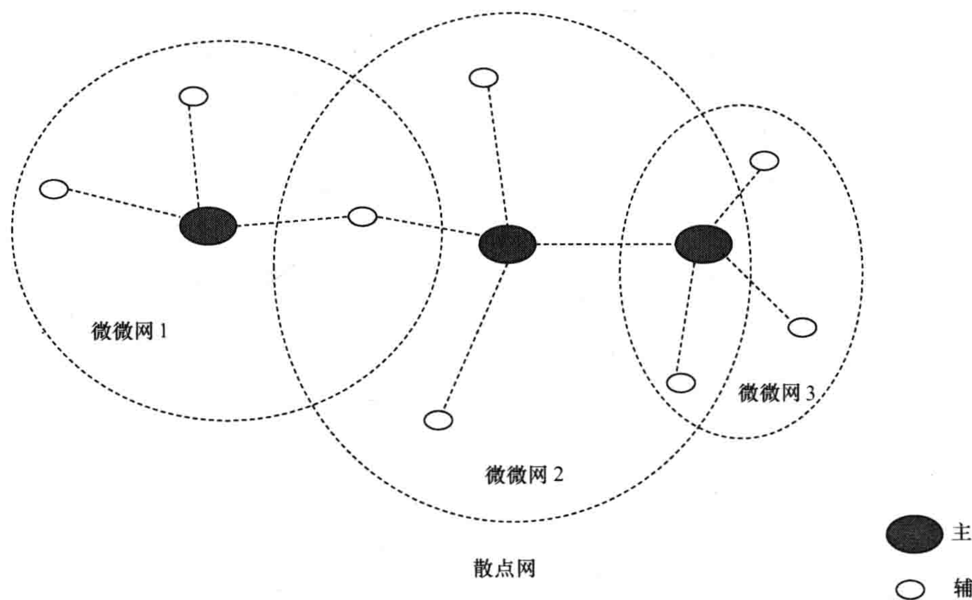


图 1.53　蓝牙微微网和分布网

蓝牙低能耗和近场通信（NFC）均可集成到移动手机，并可用作短距离通信技术。

1.3.3.4　IEEE 802.15.3

IEEE 802.15.3 是于 2003 年发布的高比特率 WPAN 的标准，它为这样一个网络定义物理和 MAC 协议，该网络在数十米区域中支持高达 245 台无线设备，比特率范围从 11Mbit/s 到 55Mbit/s。IEEE 802.15.3 在 2.4GHz 无许可证频带中使用 15MHz 的宽信道。调制和格形码冗余的选择取决于无线电信道的状况。

MAC 协议基于一个主从模型，其中一台设备（微微网控制器）（PNC）控制微微网。PNC 的主要任务有：

- 管理设备关联和去关联；
- 协同各设备对无线电信道的访问，这些设备形成该微微网；
- 以功率节省模式协同各项活动；
- 管理与其他微微网的共存，这些微微网共享相同的无线电信道。

微微网可支持不同类型的流量，像音频和视频流或尽力而为数据。PNC 发送一个信标，指明一个超帧的开始，超帧由两个时段组成：

- 竞争访问时段（CAP），基于 CSMA，并用于尽力而为流量；
- 信道时间分配时段（CTAP），用于流化或实时服务。

为在 CTAP 中进行发送，一台设备向 PNC 请求时间分配。如果从 PNC 得到授权，则该设备对所请求的资源具有排他性访问。一个微微网以子 PNC 的形式可有一个或多个 PNC。PNC 向子微微网协调器分配一个 CTAP，其中它发送信标，并将资源分配给属于子微微网的各设备。

2009 年发布了甚高数据速率的一个新 IEEE 标准 802.15.3c。它由运行在从 57～64GHz无许可证频带的一个新的物理层组成，能够达到高达 5.3 Gbit/s 的物理比特率。图 1.54 给出在日本、韩国、澳大利亚、欧洲和北美的可用带宽。在世界范围至少存在一个 3.5GHz 连续频谱。

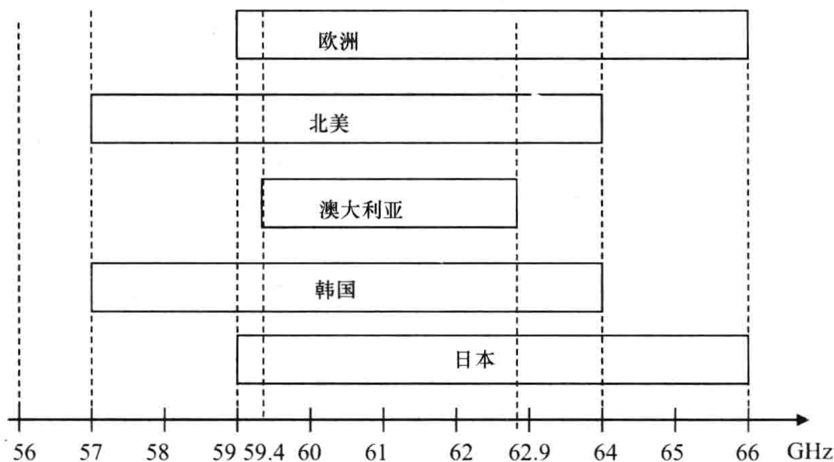


图 1.54　60GHz 频带中的可用带宽

在北美，定义了中心在 58.320GHz、60.480GHz、62.640GHz 和 64.800GHz 的宽为 2.16GHz 的四个信道。无线电基于单载波发送，具有 14 种不同的调制和编码方案，比特率高达 5.3 Gbit/s。MAC 层基于 IEEE 802.15.3 MAC，采用一些增强措施。这种比特率的典型应用有高清无压缩流化视频、交互式游戏、数字摄影和数字

家庭影院。

1.3.3.5 IEEE 802.15.4 和 Zigbee

IEEE 802.15.4[12]标准为甚低功率、低比特率网络链路定义 PHY 和 MAC。无线电发送基于如下无许可证频带上的直接序列扩频（DSSS）：

- 868 ~ 868.6MHz，有一个 600KHz 宽的信道
- 902 ~ 928MHz，有 10 个 2MHz 的信道
- 2.4 ~ 2.495GHz，有 16 个 5MHz 的信道

在 868MHz 频带，比特率是 20kbit/s，在 900MHz 频带，比特率是 40kbit/s，在 2.4GHz 频带，比特率是 250kbit/s。在 868 和 900MHz 频带中为发送选择的调制是 BPSK；在 2.4GHz 频带，使用偏移正交相移键控（OQPSK）。

为如下方面也定义了物理层过程：

- 无线电收发器的激活和去活；
- 能量检测（ED）：选择合适的信道；
- 链路质量指示：反馈一条接收分组的质量；
- 清除信道评估（CCA）：确定信道是否可用于发送。

MAC 协议基于可选使用一个超帧结构。存在一个协同器，它定义超帧结构，是从一个信标帧开始的，由 16 个槽组成。出于同步目的，信标是从协同器发送的，并包含网络信息和超帧结构。

超帧可被分为两个时段：

- 冲突访问时段（CAP），基于 CSMA；
- 无冲突时段（CFP），其中协同器将时间槽分配给请求有保障资源的设备。

超帧可有不活跃时段，其中各设备转为功率节省模式。如果协同器不希望支持超帧，则它不发送信标，所有发送就遵循 CSMA/CA 来访问信道。

Zigbee 架构是传感器网络和物联网的一个使能器。一个 Zigbee 网络是由两类设备形成的：全功能设备（FFD）或精简功能设备（RFD）。协同器必须是一个全功能设备。

Zigbee 协议栈如图 1.55 所示。它基于 IEEE 802.15.4 物理层和 MAC 层，并定义高层协议，来创建一个多跳自组织网络。Zigbee 层包括如下特征：形成一个网络，进入和离开一个网络，路由，安全等。

Zigbee 网络拓扑可以是星形、对等和集群三拓扑。网络拓扑如图 1.56 所示。集群三拓扑（Cluster three topology）是通过组合星形、点到点和网状拓扑得到的。精简功能设备受限于星形拓扑，并仅能与协同器通信。全功能设备可以是协同器，并可用于任何网络拓扑之中。一个 Zigbee 网络可有高达 65534 个节点；一个协同器同时可管理至多 255 个活跃节点。

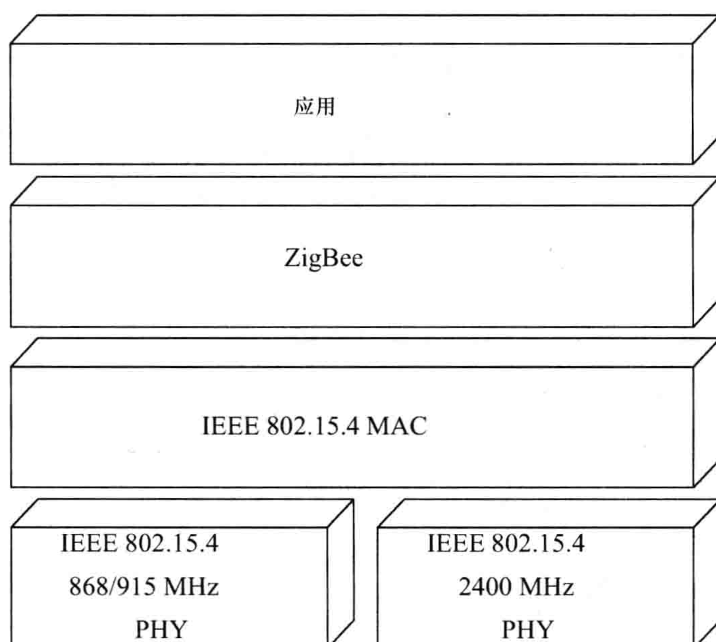


图 1.55　Zigbee 协议栈

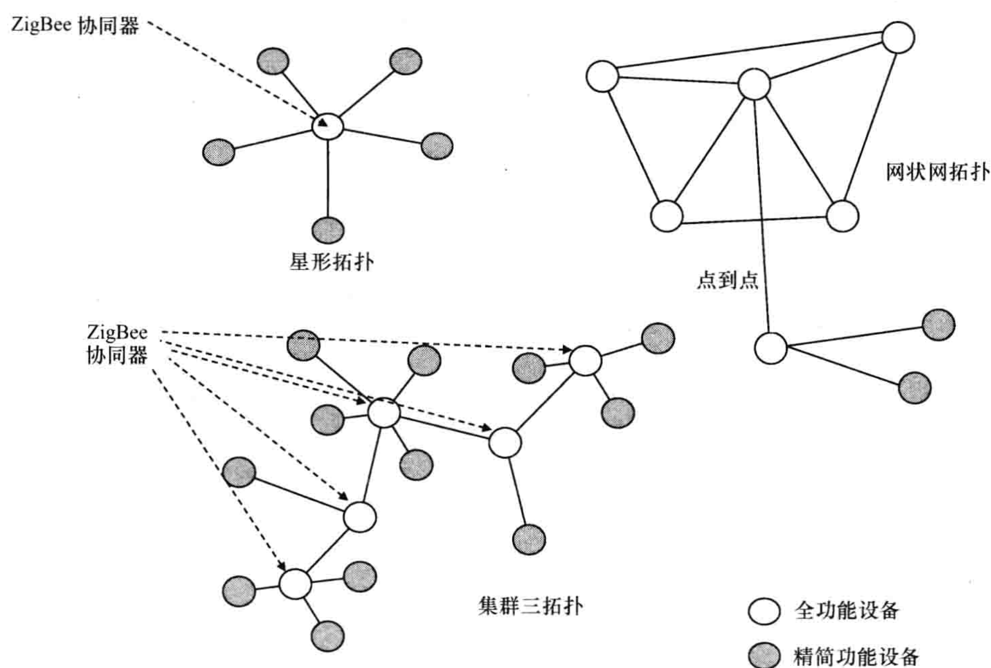


图 1.56　Zigbee 网络架构

参考文献

1. Mouly, M. and Pautet, M.-B. (1992) *The GSM System for Mobile Communications*, Telecom Publishing.
2. Sanders, G., Thorens, L., Reisky, M. *et al.* (2003) *GPRS Networks*, John Wiley& Sons, Ltd, Chichester.
3. Eylert, B. (2006) *The Mobile Multimedia Business: Requirements and Solutions*, Halsted Press.
4. Kaaranen, H., Ahtiainen, A., Laitinen, L. *et al.* (2005) *UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services*, 2nd edition, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
5. A Regulatory Framework for UMTS, UMTS Forum Report 1, 1997.
6. Holma, H. and Toskala, A. (2009) *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
7. Alamouti, S.M. (1998) A simple transmit diversity technique for wireless communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **16** (8), October.
8. 3GPP TR 36.913 (2008) 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Requirements for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced), May 2008.
9. Pahlavan, K. and Levesque, A.H. (2005) *Wireless Information Networks*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
10. Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, prepared on behalf of the WiMAX Forum, 2006.
11. Mobile WiMAX – Part II: A Comparative Analysis, prepared on behalf of the WiMAX Forum, 2006.
12. Ergen, S.C. ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary. http://www.eecs.berkeley.edu/csinem/academic/publications/zigbee.pdf.

第 2 章　认知无线电：概念和能力

2.1　认知系统

一个认知系统是基于感知-理解-动作循环的一个复杂自适应系统。一个认知循环的例子是大脑，它由单元（即神经元）的一个网络组成，相互作用，同时与其环境发生交互。神经元感知实际状况，理解之，并动作，达到某种优势或一个给定目标。像大脑的一个认知系统能够适应环境中的变化，并对之做出反应。认知循环如图 2.1 所示。

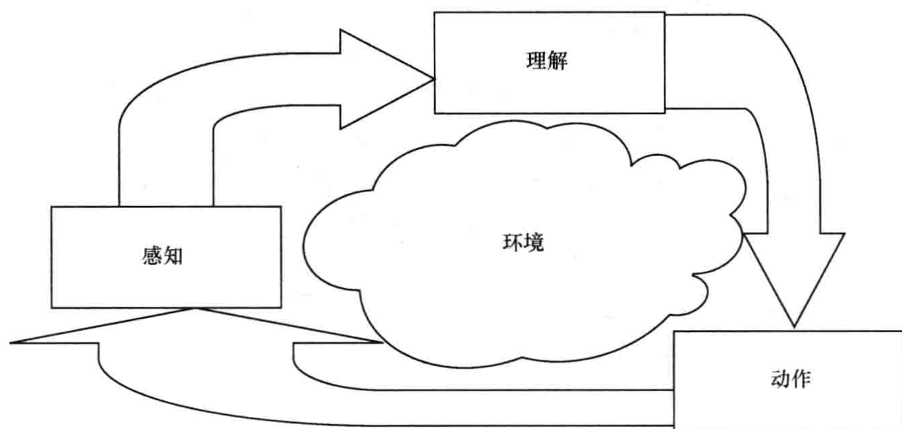


图 2.1　认知循环

Joseph Mitola 于 1999 年引入认知无线电的如下定义："关键点是，无线个人数字助理（PDA）和有关网络就无线电资源和有关的计算机-到-计算机通信是计算上足够智能的，作为使用语境的一个函数检测用户通信需要，并提供最适合那些需要的无线电资源和无线服务"[2]。无线电认知循环如图 2.2 所示。

在感知阶段，认知设备对无线电环境实施实时宽带监测。之后，在理解阶段，它对所获取的语境实施可靠刻画，并选择与语境和用户需要相关的最佳响应战略。最后，在动作阶段过程中，它改变无线电参数，提供最合适的无线电资源和无线服务。

认知无线电存在两个在用的定义：

- 频谱感知认知无线电：仅考虑无线电频谱。在这种情形中，PDA 感知可用频谱，选择最可用的信道，与其他用户协同使用选中的信道，并当检测到一个有许

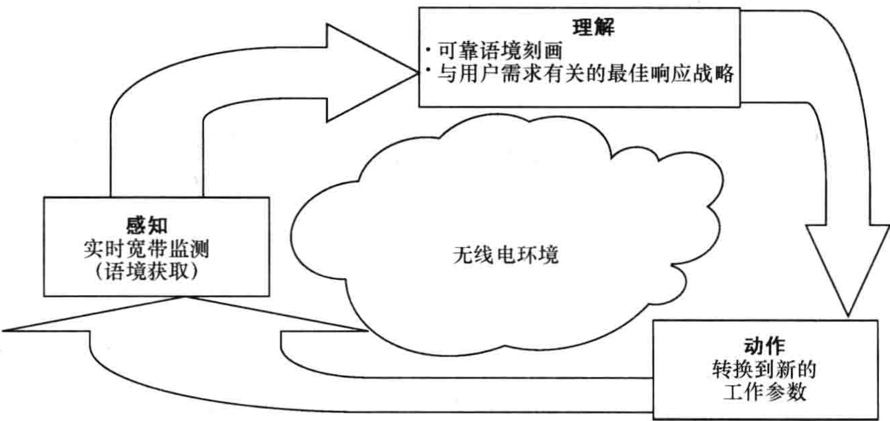


图 2.2　无线电认知循环

可证的用户时释放信道。

• 全认知无线电：为整体优化，考虑由一个无线节点或网络可观测的每个可能参数。在这种情形中，PDA 获取语境（即可用无线电接入技术和运营商、功率和频谱策略，无线电接入技术（或 RAT）的实际利用率，等），与认知网络节点一起，选择最佳无线电接入技术（RAT），并最终重新配置无线电参数，优化无线电资源利用率。全认知无线电系统得到可重构无线电系统，其中每个无线电参数，包括使用的频谱，可被改变以满足用户需要和网络优化目标。

2.2　频谱感知认知无线电

无线系统如今可被分成两类：

• 有许可证的系统：所使用的频率是有许可证的和固定的，带有有限的频谱分配和优化功能。在那些系统（即像 GSM/GPRS/EDGE、UMTS/HSPA/HSPAT +、LTE 等无线电移动系统）中，干扰处在运营商的控制之下，但频谱的使用率没有得到优化。

• 无许可证系统：它们工作在无许可证频带。在没有接入协同的条件下，不同系统使用相同的无许可证频带（即 WLAN、蓝牙、Zigbee 等都使用 2.4GHz 频带）。这导致高干扰和性能降级。

频谱感知认知无线电系统提供动态频谱管理技术，这些技术通过限制干扰，能够在那个时刻那个地点使用可用频谱。如今虽然无线电频谱是一种稀缺资源，但它仍然是欠利用的。为频谱感知认知无线电考虑使用的频率范围是 TV 频带。在表 2.1 和表 2.2 中分别给出美国和欧洲的 TV 频带。

空闲 TV 频道被称作白空间，并考虑可供二级频谱使用，这是在不为 TV 重发器（repeater）（有许可证的主用户）使用的 TV 频道上由一个认知无线电设备发送

的可能性。图 2.3 给出在美国，有许多区域有多达 47 个空闲 TV 频道。

表 2.1　北美 TV 频道分配

频 道 号	频　带	
2、3、4 5、6 7、8、9、10、11、12、13	54 ~ 72MHz 76 ~ 88MHz 174 ~ 216MHz	VHF
14、15、16、17、18、19、20 21、22、23、…、51	470 ~ 521MHz 512 ~ 698MHz	UHF

表 2.2　欧洲 TV 频道分配

频 道 号	频带/MHz	
5、6、…、12	174 ~ 230	VHF
21、22、…、69	470 ~ 862	UHF

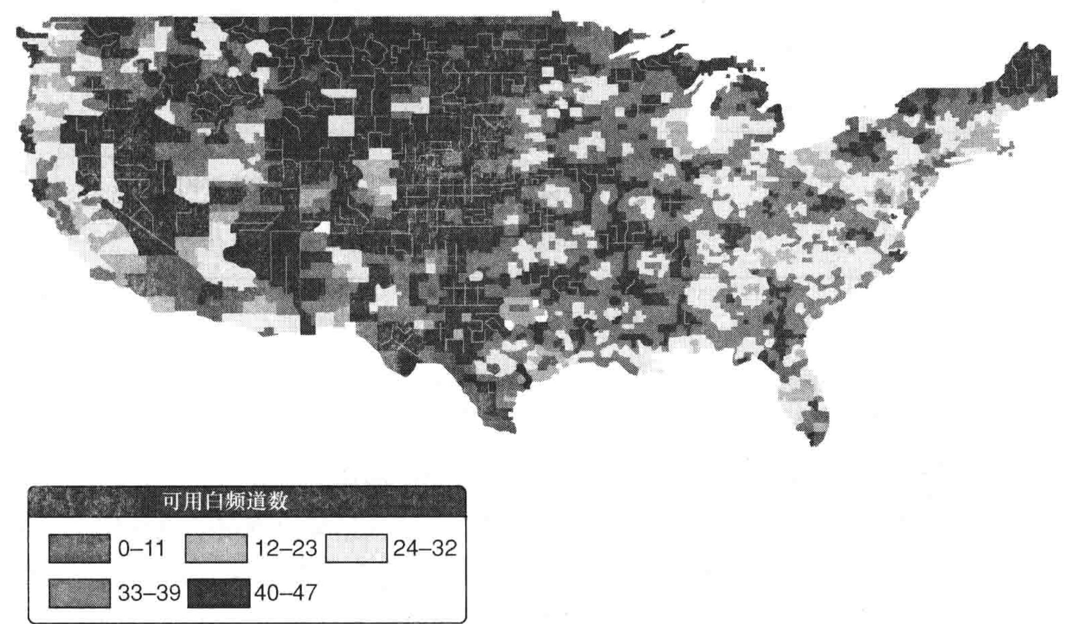


图 2.3　按县显示的 TV 白空间频道（2009 年 12 月）（从 www. dailywireless. com 引用）

2009 年出现了认知无线电的第一个标准 IEEE 802.22。在本书第 4 章讨论 IEEE 802.22。

与其他用户共享无线电频谱的一个认知终端，必须实现新的无线电功能，不仅涉及物理层，而且涉及到 MAC 层，并最终涉及网络层。物理层将采用如下措施加以增强：

- 感知和地理位置功能，带有在某个地理区域中可靠测量无线电频率的任务；

- 认知功能，带有处理频谱测量数据和选择最佳可用信道的能力；
- 适配功能，包括从一个可用频率切换到另一个可用频率（频率敏捷性）并将功率和发送格式（即调制和编码）调整到无线电状况的能力。

为优化地共享可用频谱，MAC 层将增强带有协作和频谱管理功能，支持在认知无线电终端间的信息交换。如果存在的话，则在 MAC 层也激活频谱租用功能。图 2.4 给出添加到 MAC 层和物理层的频谱感知认知特征。

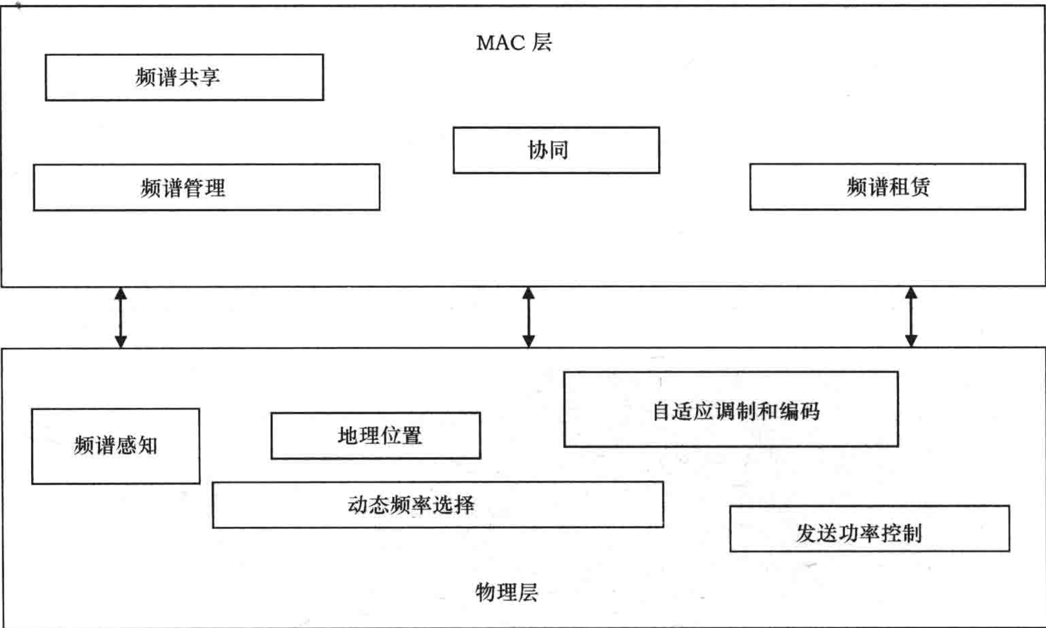


图 2.4　添加到 MAC 和物理层的频谱感知特征

2.2.1　频谱感知认知特征

图 2.5 给出在物理层认知特征的感知-理解-动作循环。

感知功能包括宽带频谱感知和地理位置能力。感知结果由理解功能使用，理解功能利用可用无线电频率和最佳满足用户需要的发送功率及格式（即调制和编码方案）。之后，动作功能选择频率，调整功率，并适配发送格式。所描述的循环连续地与 MAC 一起工作来优化频谱使用率，同时最小化干扰并维护 QoS/服务需求。

2.2.1.1　宽带频谱感知

宽带频谱感知的功能是一项具有挑战性的研究专题[4,5]。宽带频谱感知是在物理层实现的一项特征。

对频谱感知认知无线电的第一项要求是避免对主要用户的干扰。为了取得这个目标，需要对主要用户的可靠检测。在接收侧，通过将发送器设计成能够达到对无线电灵敏度的严格要求，做到可靠检测。无线电灵敏度是在接收天线输入处要求的

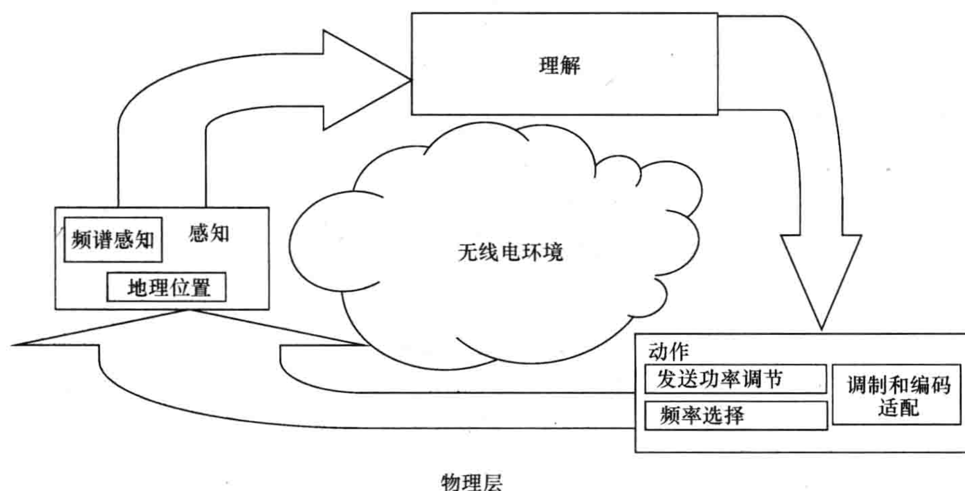


图 2.5　在物理层处认知特征的感知-理解-动作循环

最小信号功率水平，以便产生具有确定的信噪比（SNR）的一个输出。

接收器灵敏度 S 的公式是

$$S=\left(\frac{S}{N}\right)_{\min}KT_0B(\mathrm{NF})\tag{2.1}$$

式中　K 是波尔茨曼常数（38×10^{-23} J/EKelvin）；T_0 是接收器输入的绝对温度（EKelvin），B 是接收器带宽（Hz）；NF 是噪声因数。

在一个认知节点的接收天线处最小功率 SM，必须考虑到天线增益 G 以及容限（M）和损失（L）：

$$\mathrm{SM}=\frac{S}{G}LM\tag{2.2}$$

表示为 dB，则

$$\mathrm{SM}_{\mathrm{dB}}=S_{\mathrm{dB}}-G_{\mathrm{dB}}+L_{\mathrm{dB}}+M_{\mathrm{dB}}\tag{2.3}$$

在式（2.2）和式（2.3）中，S 代表接收器灵敏度；G 是天线增益；L 包括损失；M 考虑到所有容限（即为确保所要求的服务质量而必须考虑的参数集）。就传统链路预算问题而言，新问题是在保障没有干扰时为避免虚警而必须检测的信号功率大小。

图 2.6 和图 2.7 给出两个例子，即一个虚警例子和一个漏失检测的例子。在例子中，实施能量检测。虚警意味着将不使用一个可用的信道；漏失检测意味着将产生对主要用户的干扰。

一个认知无线电接收链如图 2.8 所示[2]。入射到天线上的宽带 RF 信号包括所有其他干扰信号（除了噪声外）。强信号和弱信号的存在要求前端电路的一个大的动态范围，且特别对模拟到数字（A-D）转换器而言，它必须可处理大信号，同时仍然表示范围中的小信号。因此，宽带感知要求高分辨率 A-D 转换器，具有高达

16 位的一个动态范围[6]。

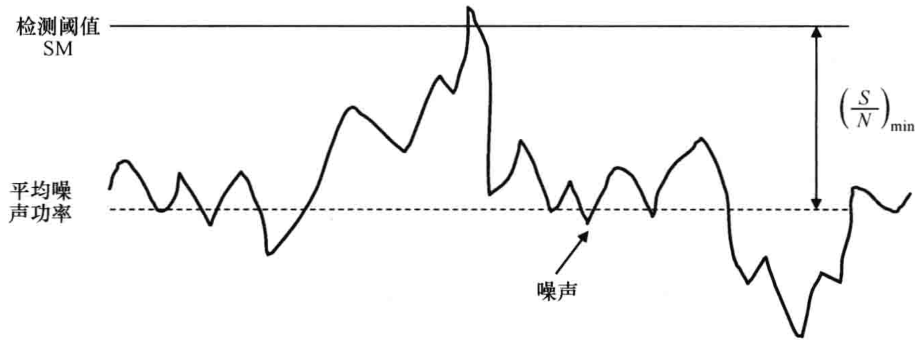


图 2.6 一个虚警的例子

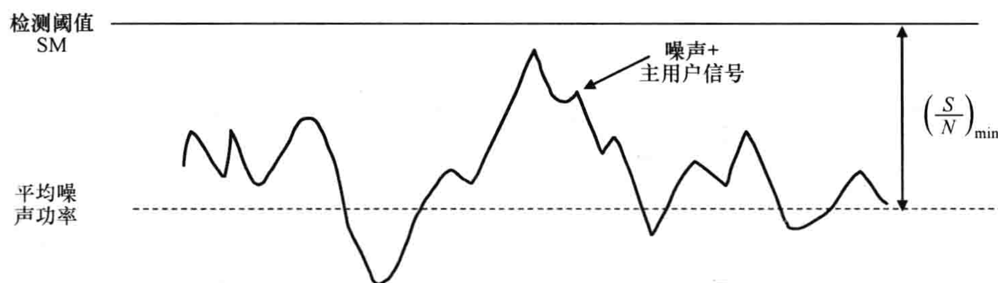


图 2.7 一个漏失检测的例子

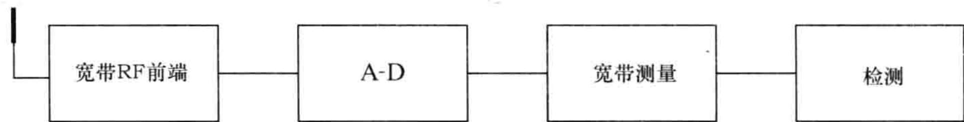


图 2.8 一条认知无线电接收链的例子

降低信号动态性范围的一种可能性是，减少对检测无关的强的带内主用户，例如通过以一个锲形滤波器（notch filter）过滤这些用户[5]。另一种可能性是，降低所接收信号的动态范围，方法是在空域中过滤信号，例如采用多天线实现波束形成法。

波束形成法是创建一种有方向辐射模式的一种天线技术，因此限制在那个空间/方向发送之信号的接收。

检测技术

在本段讲解用于认知无线电接收器信号检测的四种最重要的技术。

第一种技术基于能量检测，这是一个非常简单的概念。检测器测量所接收信号的能量，并通过阈值比较，确定一个信号是否存在。因为信号能量可在时域和频域进行计算，能量检测器可在时域和频域实现。图 2.9 给出一个能量检测器的一种频

域实现。

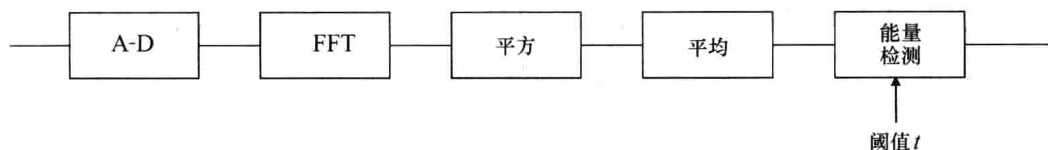
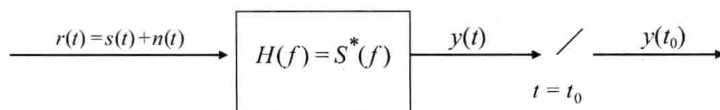


图 2.9 一个能量检测器的频域实现

一个能量检测器的频域实现如下：所接收信号进行数字化处理，之后通过实施快速傅里叶变换（FFT）转换到频域，对系数取平方，之后求平均。将得到的能量与一个阈值 t 比较，确定所期望的信号是否存在[7]。

这是一种不一致（noncoherent）的方法，它也对宽带感知具有简单实现的优势。它不要求检测信号的知识，但它遇到低信号缺失检测的问题。在这种情形中，一种自适应阈值设置法可改进检测性能。自适应阈值法在信号范围上动态地改变阈值。在没有缺失检测的条件下，阈值法的这种比较复杂的版本可处理信号范围中的变化。

第二种检测方法基于匹配的滤波器（matched filter），这得到随机噪声中一个已知信号的最优检测[4]，满足输出信噪比（SNR）最大化。匹配滤波器的脉冲响应是输入信号 $s(t)$ 镜像图像（mirror image）的一个延迟版本。图 2.10 给出一个匹配滤波器的检测器。



对于实际信号：$S(f) = S^*(f)$

图 2.10 匹配滤波器检测器

通过接收信号 $r(t)$ 和滤波器的脉冲响应 $h(t)$ 之间的一个相关运算（correlation operation）实现一个匹配滤波器：

$$y(t) = r(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau) h(t-\tau) \mathrm{d}\tau \tag{2.4}$$

或，在其离散时间版本中：

$$y_n = \sum_{k=-\infty}^{\infty} r_k h_{n-k} \tag{2.5}$$

应用到认知无线电的匹配滤波器检测意味着接收器知道要检测的信号。此外，一致的检测需要接收器实施定时和载波同步。不同类的主用户信号可被存储在匹配滤波器检测器中，且在多数情形中，同步是可能的，原因是多数主用户广播引导和同步信号。但是，匹配滤波器检测器带有一个主要缺陷：每个主用户类需要有一个

接收器，这使其实现非常困难[4]。基于匹配滤波器的一个认知无线电检测的一个例子如图 2.11 所示。通过将匹配滤波器的输出与一个阈值 t 的比较，实施检测。

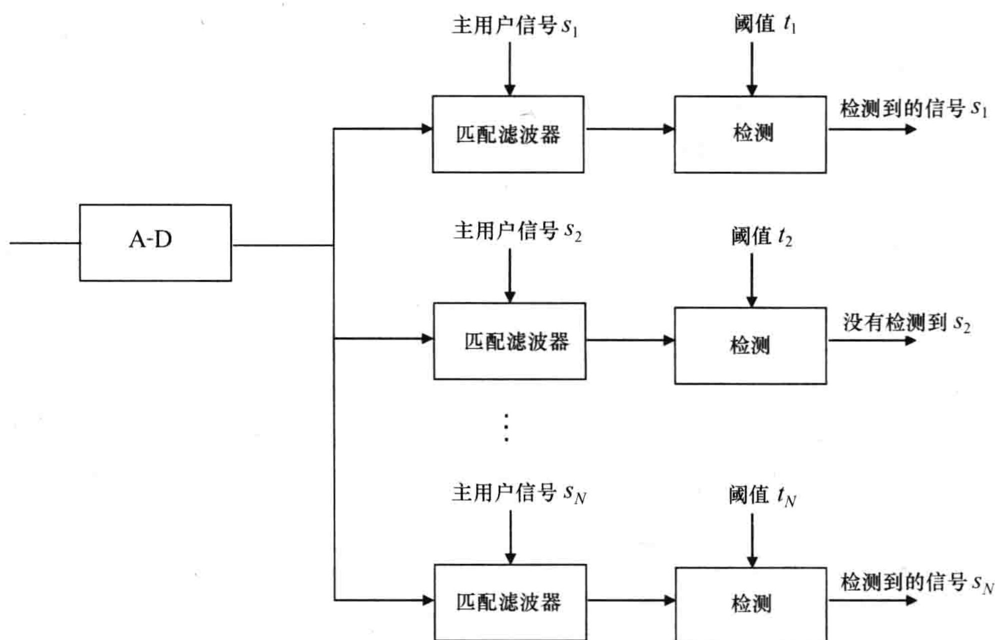


图 2.11　基于一个匹配滤波器的认知无线电检测例子

第三种检测方法是基于特征感知。信号与噪声的统计协方差是不同的，这个性质可被用来检测接收信号中主用户的存在[8,9]。

令 $r(t)=s(t)+n(t)$ 为接收信号，被采样，是

$$r(k)=s(k)+n(k) \tag{2.6}$$

式中　$s(k)$ 是在认知无线电设备接收器处的一个或多个主用户信号的贡献量；$n(k)$ 是一个加性高斯噪声的样本，具有零均值和协方差 σ_n^2。考虑 L 个连续样本，可定义如下向量：

$$\bar{r}(k)=[r(k)r(k-1)\cdots r(k-L+1)] \tag{2.7}$$

$$\bar{s}(k)=[s(k)s(k-1)\cdots s(k-L+1)] \tag{2.8}$$

$$\bar{n}(k)=[n(k)n(k-1)\cdots n(k-L+1)] \tag{2.9}$$

$\bar{r}(k)$ 和 $\bar{s}(k)$ 的统计协方差矩阵分别是

$$R_{\bar{r}}=E(\bar{r}(k)\bar{r}^{\mathrm{T}}(k)) \tag{2.10}$$

$$R_{\bar{s}}=E(\bar{s}(k)\bar{s}^{\mathrm{T}}(k)) \tag{2.11}$$

它们的关系是

$$R_{\bar{r}}=R_{\bar{s}}+\sigma_n^2 I_L \tag{2.12}$$

式中　I_L 是一个 $L\times L$ 单位矩阵。第一项考虑是，仅当没有信号和仅有白噪声时，$R_{\bar{r}}$ 才是一个对角矩阵。

人们提出了基于所接收信号协方差矩阵的计算和特征值计算的许多检测方法[8-11]。基于特征值检测（EBD）方法可被分为两类：

- 半盲 EBD，其中存在噪声协方差的一个估计。如果知道噪声协方差，则这个类别给出较佳的性能；
- 盲 EBD，其中不知道噪声协方差。属于这个类别的算法，应该用在不知道或高可变噪声协方差的情形中。

不同的 EBD 算法从一个测试统计数据计算一个值 T，并将之与一个预确定阈值 t 比较，确定主用户是否存在或是否存在仅有噪声。

假定 H_0是仅有噪声存在的事件，H_1是主用户信号存在的事件。虚警的概率是

$$P_{fa}=\Pr(T>t\,|\,H_0) \tag{2.13}$$

且正确检测的概率是

$$P_{cd}=\Pr(T>t\,|\,H_1) \tag{2.14}$$

漏检概率是 $P_{md}=1-P_{cd}$。阈值 t 通常依据一个目标虚警概率进行设置。例如，在 IEEE 802.22 中，P_{fa}和 P_{md}都必须小于 10^{-1}[11]。

令 λ_1，λ_2，…，λ_L是 $R_{\bar{r}}$的特征值。一个基于半盲的特征值检测（EBD）算法由 $R_{\bar{r}}$的最大特征值 $\lambda_{\max}$的计算和定义 $T=\lambda_{\max}/\sigma_n^2$[11]。如果 $\lambda_{\max}>t\sigma_n^2$，则检测主用户信号。观察到如果 $L=1$，则最大 EBD 算法变为能量检测。

一个盲 EBD 算法，在 T 的计算中，组成如下[11]：

$$T=\frac{1}{L-1}\frac{\lambda_{\max}}{\sum\limits_{i=1}^{L-1}\lambda_i} \tag{2.15}$$

在式（2.15）中，特征值以升序排序，且 $\lambda_L=\lambda_{\max}$。式（2.15）中的分布是噪声方差的最大似然（ML）估计，如果假定存在一个信号的话[12]。在未知噪声方差的情形中，式（2.15）替换式（2.14）。图 2.12 给出一种基于特征值检测器的方案。

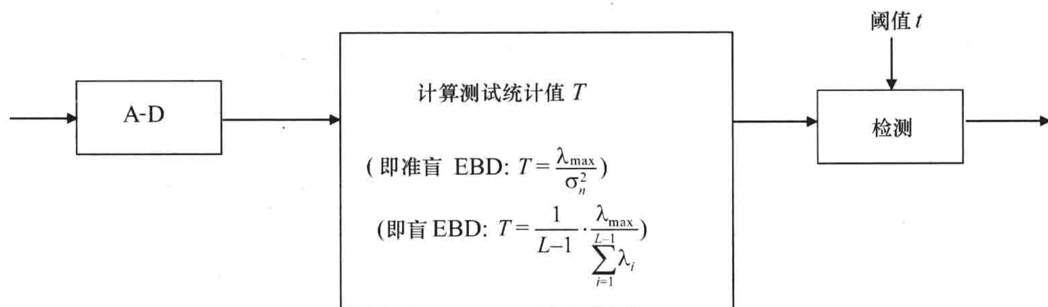


图 2.12　基于特征值的检测器

在文献［13］中，表明了在独立同分布信号的情形中，能量检测是最优的。对于相关信号，EBD 算法得到较佳性能。类似于能量检测，EBD 不需要有关要检测信号的任何先验知识[8,10]。另外，不需要同步。

第四种方法是周期平稳检测方法。主用户信号包括周期性信号，像载波、脉冲序列和循环前缀。这种信号的自相关由某个周期所刻画。周期静态检测方法背后的思路是在所接收信号的自相关中搜索一个周期。如果找到这样的周期，则检测到一个主用户信号。

周期静态检测方法的优势是，可仅基于所接收信号频谱，完成检测[14,15]。所接收信号 $r(t)$ 的周期自相关函数（CAF）定义为

$$R_r^{\alpha}(\tau) = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} r\left(t-\frac{\tau}{2}\right)\left(t+\frac{\tau}{2}\right)e^{-j2\pi\alpha t}dt \tag{2.16}$$

通过计算 CAF 的傅里叶变换（FT），得到谱相关函数（SCF）：

$$S_r^{\alpha}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_r^{\alpha}(\tau)e^{-j2\pi\alpha\tau}d\tau \tag{2.17}$$

SCF 是一个二维变换，其中参数 α 是周期频率。谱相关函数也可如下给定[3,4]：

$$S_r^{\alpha}(f) = \lim_{T\to\infty}\lim_{Z\to\infty}\frac{1}{TZ}\int_{-Z/2}^{Z/2} R_T\left(t,f+\frac{\alpha}{2}\tau\right)R_T^*\left(t,f-\frac{\alpha}{2}\tau\right)dt \tag{2.18}$$

式中

$$R_T(t,f) = \int_{t-T/2}^{t+T/2} r(u)e^{-j2\pi fu}du \tag{2.19}$$

式（2.18）和式（2.19）表明，通过计算接收信号 $r(t)$ 的快速傅里叶变换（FFT），完成一个周期平稳检测器的实现，之后实施谱相关（计算）。周期平稳检测器的数字实现如图 2.13 所示。通过搜索对应于 SCF 平面中最大值的唯一周期频率，实施检测。周期平稳检测器是难以实现的，但它们不需要被检测信号的先验知识，且相比能量检测器是更鲁棒的。

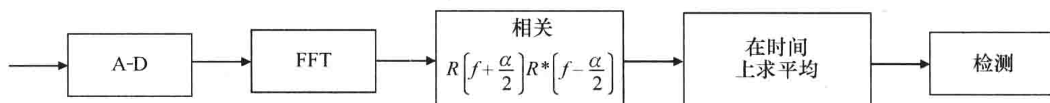


图 2.13 周期平稳检测器

协同检测

可采用在二级用户间的协同，改进主用户检测性能。您要付出的代价是二级用户间的信令，交换有关主用户检测的信息[16]。另一方面，多亏协同带来的性能改进，像能量检测器的低复杂度检测器可用于认知设备[17]。

在文献中考虑了不同的协同检测方案。一种协同检测方案可基于不同二级用户间的联合检测。例如，在文献［18］中，提出一种融合战略，在所有协同节点的情形中个体节点做出决策。通过一个控制信道交换有关软或硬决策的信息。

一种不同的协同检测方案意味着二级用户做出独立的决策，并将之通知一个融合中心，该中心作为一个中心式控制器，实施最终决策，并将决策分发给二级用户[19]。一种不同的战略是这样一种战略，其中未来的中心将接收到的信息广播给二级用户，且每个二级用户在考虑广播信息的情况下实施个体决策。图 2.14 给出协同检测的两个前面描述过的例子。

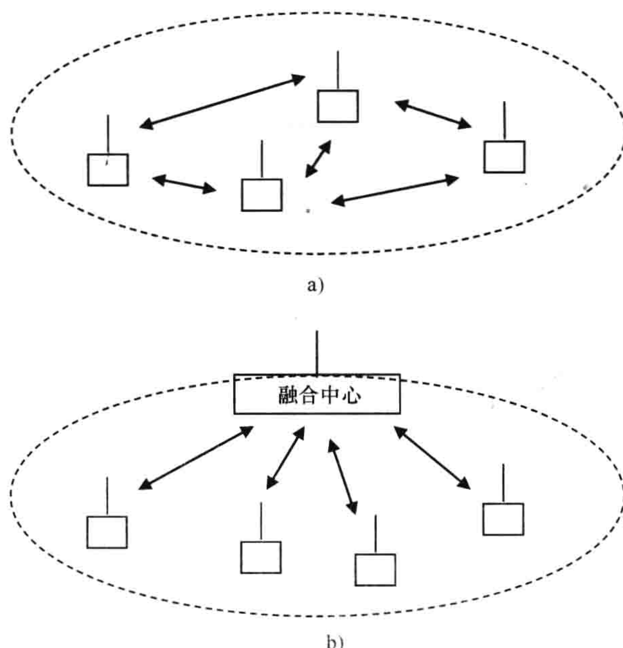


图 2.14　协同检测的例子

a）联合协同检测。在二级用户间交换信息　b）联合协同检测。信息被发送到一个融合中心

2.2.1.2　动态频谱访问的频率敏捷性和频谱聚集

在可用带宽的可靠检测（动态频率选择）之后，认知无线电终端必须能够切换到可用频率，并高效地使用它们。可用频谱的动态和高效使用降低了频谱分段。

在这个语境中，通过动态地占据频谱分段，频率敏捷无线电可改进无线网络的性能。另一方面，频率敏捷型意味着硬件复杂性，这会影响终端的成本。在文献［20］中，介绍了两种类型的频率敏捷终端：

- l-敏捷无线电：能够使用一个频率信道，但可调节频道宽度和中心频率；
- k-敏捷无线电：能够使用多达 k 个非连续频率信道。

使用 k-敏捷无线电的优势是，频谱分段的问题是在物理层解决的。在 l-敏捷认知无线电终端中，从基带模块的输出信号通过射频（RF）收发器被转换为分段的中心频率，之后发送到前端模块（FEM），FEM 连接到天线。图 2.15 给出一个 l-敏捷无线电发送链。

图 2.16 和图 2.17 给出一个 k-敏捷认知无线电终端的两种可能实现。一个基带

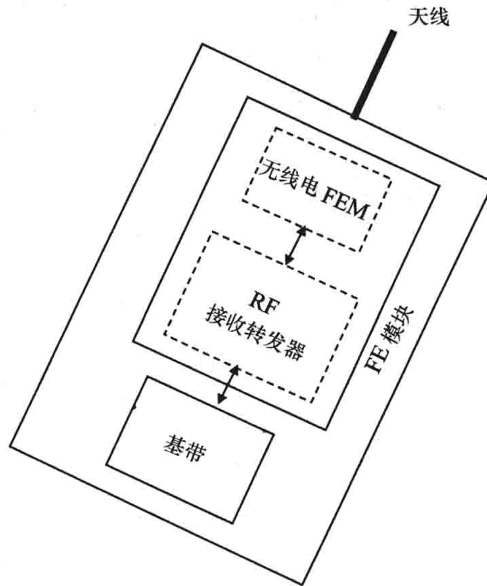


图 2.15 一个 l-敏捷无线电发送链的例子

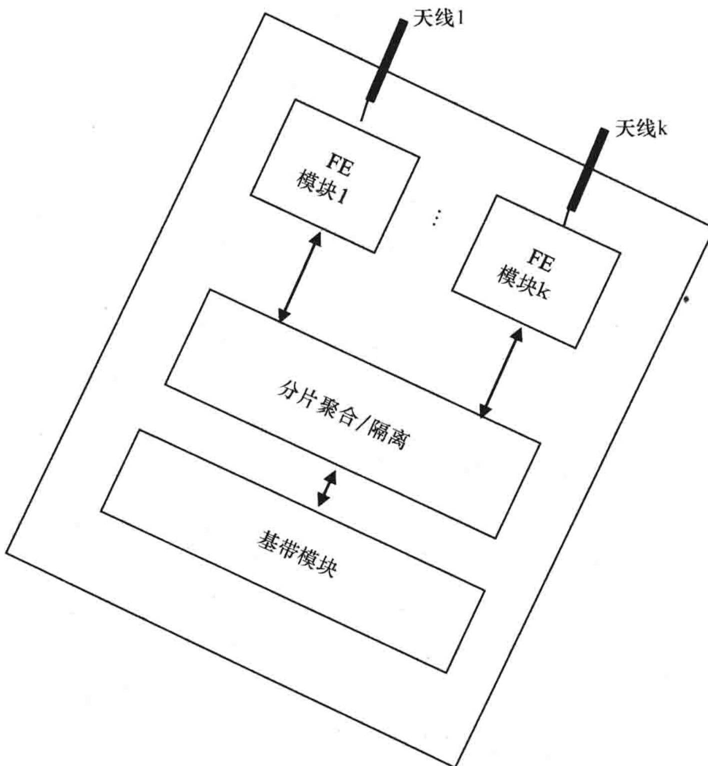


图 2.16 一个 k-敏捷无线电认知终端的例子，
其中每个分段有一个 RF 模块

模块联合地细化在每个分段上发送的信号，之后一个模块聚集在发送中的信号并在接收中解聚集这些信号。在图 2.16 中，对每个分段存在一个一个 RF 模块。在图 2.17中，一个宽带 RF 模块用于所有 k 分段。

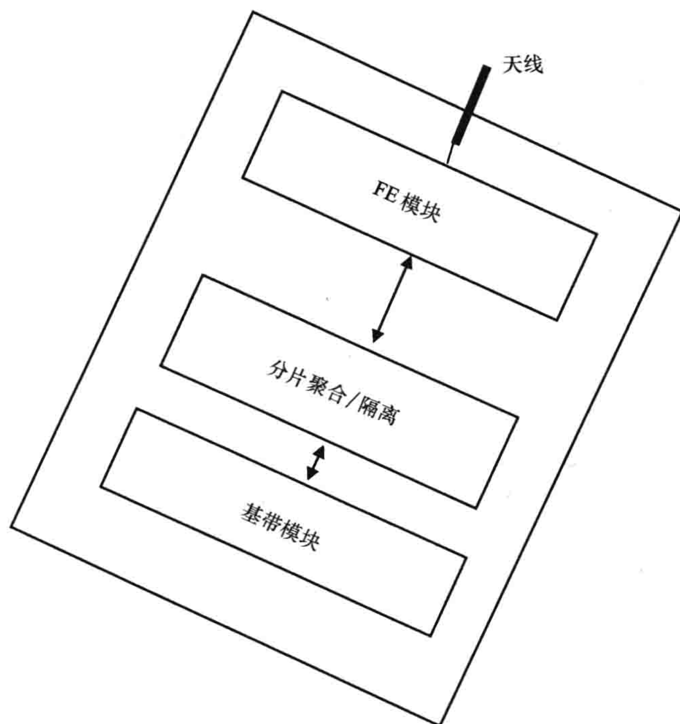


图 2.17　一个 k-敏捷无线电认知终端的例子，其中在 k 个分段间共享一个宽带 RF 模块

在多个分段的情形中，对每个分段有独立的链和在一个以上分段间共享一个链，是不可能的。这就降低了部件数量，但要求每个 RF 模块是宽带的。在那种情形中，应该使用为多载波应用设计的高线性 RF 部件，由此增加了认知终端的成本[21]。因为在临近的天线间可能发生尺寸和耦合效应，则在不同 RF 链间共享一个或两个宽带天线是合适的。

上面描述的频率-敏捷无线电的发送方案，在物理层解决频谱分段问题。频谱分段问题也可在较高层解决，通过调度器中的频谱聚集功能实现。人们提出了动态频谱访问的不同频谱聚集算法[21-24]。

聚集感知频谱指派（AASA）算法是一种非常简单的算法，其中假定所有用户具有相同的带宽需求。它基于从低频开始的频谱分段指派[22]，其流图如图 2.18 所示。因为其简单性，AASA 算法可以在中心式网络和分布式网络中加以实现[22,23]。

假定用户具有不同频谱需求的一种不同频谱聚集算法是最大满意度算法（MSA）。思路是首先服务具有最大带宽需求的用户，它将被指派具有最小拟合可

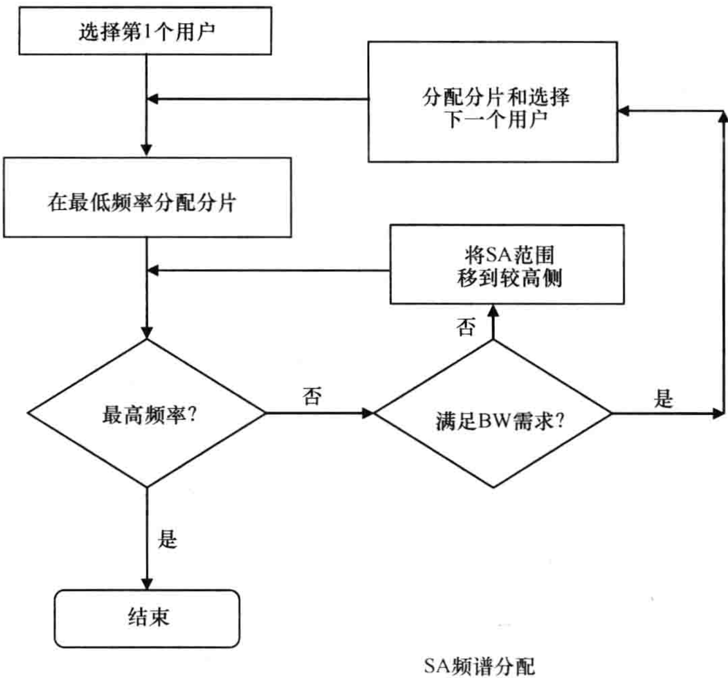


图 2.18 聚集感知的频谱指派算法流图

用带宽的分段，之后其他分段将仍然可用于其他用户。MSA 的流图如图 2.19 所示。MSA 比较适合于在中心式网络中的实现。

当然，AASA 算法和 MSA 不是可用频谱指派算法的一个穷尽列表，但它们代表了在 MAC 层解决分段聚集问题的两个例子。

2.2.1.3 频谱共享和频谱租用

频谱共享意味着频谱是在不同主体间共享的。各主体共享可用频率，频率可以是有许可证的和无许可证的；共享频谱的各主体可以是基站（BS）或终端。频谱共享的一个例子如图 2.20 所示，其中两个基站节点共享相同的频率。各 BS 可属于相同或不同运营商。频谱共享也带来频谱租赁的机会，这是为租赁机会性地提供未使用频谱的可能性。在图 2.20 中，在时刻 t_1，BS1 使用一个比 BS2 大的频谱，原因是它需要服务更多用户；在时刻 t_2，BS1 的五个用户中的两个移动到 BS2 覆盖区。之后在 BS1 和 BS2 之间重新安排所用频谱，来访问新的流量负载。

另一个例子是在同一频带内无许可证用户间频谱共享。在 2.2.1.2 节中描述的 AASA 算法和 MSA 可用于无许可证用户间的频谱共享。在文献［25］和［26］中，研究了在同一频带内无许可证用户间的频谱共享问题，提出了源于博弈论的公平和高效频谱共享规则。

2.2.1.4 地理位置

认知无线电为数据发送使用未占用的频带。因为未占用频带随位置而不同，所

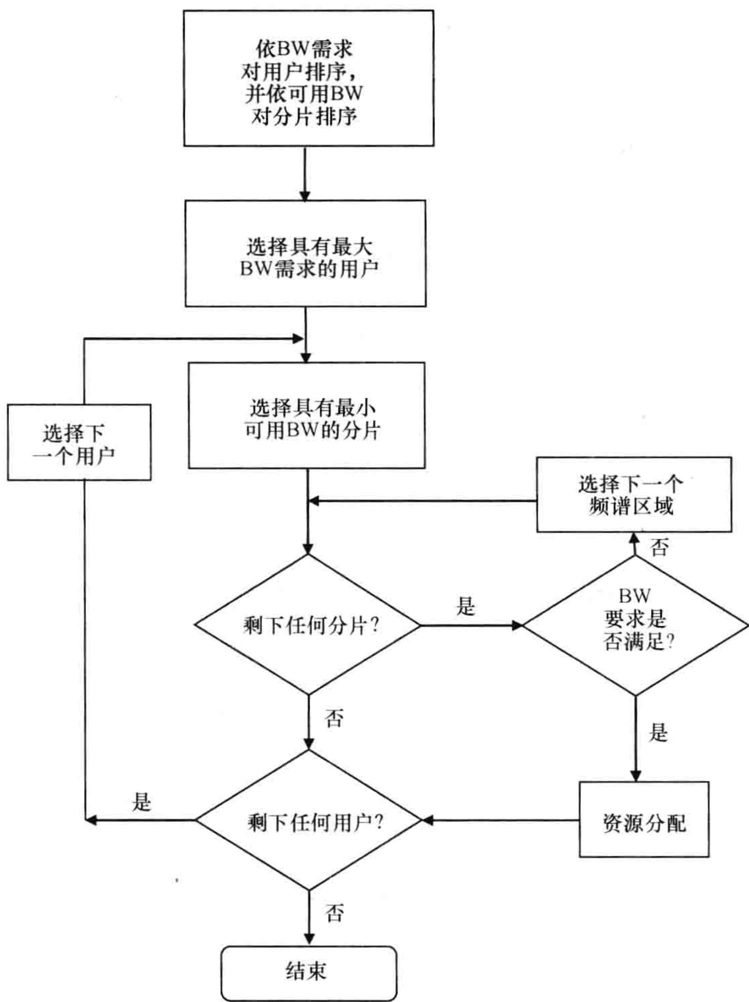


图 2.19　最大满意度算法流图

以位置信息可用于带宽分配。在这种方法中，一台设备确定其位置，并将具有其准确度的位置（信息）发送到一个数据库。该数据库知道那个位置的可用信道，将一个或多个信道指派给认知无线电，指派的信息还有最大允许功率和时间有效期。同时，为更新其位置，认知设备可将其感知结果发送到数据库。在本书第 4 章描述这个场景及其例子。

在本节，给出地理位置技术的一个简短描述[27]。地理位置技术可以是基于卫星的或基于陆地的。在第一种情形中，锚点是卫星；在第二种情形中，锚点是陆地节点（即基站）。

在认知无线电网络中可使用不同的位置技术。在传统定位技术中使用的两个基本原理是三角测量法和三边测量法。

采用三角测量法，通过从已知点测量角度得到位置。必须确定位置的点是这样

可用频谱

时间

BS1使用的频谱 BS2频谱 t_1

BS1 BS2

BS1频谱 BS2频谱 t_2

BS1 BS2

BS基站

图 2. 20 在两个基站之间频谱共享的例子

的一个三角形的一个顶点，有一条已知边和两个已知角度。在图 2. 21 中，给出三角测量法的一个例子，其中已知边是两个基站之间的距离，α 和 β 是两个已知角。移动终端和 BS1 之间的距离如下给定：

$$d_1 = \frac{l\sin(\beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \tag{2.20}$$

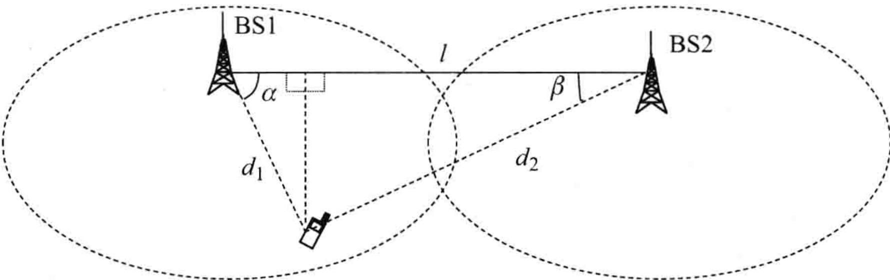


图 2. 21 三角测量法的例子

移动终端和 BS2 之间的距离 d_2 如下给定：

$$d_2 = \frac{l\sin(\alpha)}{\sin(\alpha+\beta)} \tag{2.21}$$

采用三边测量法，至少测量有已知位置（锚点）的三个点的距离，才可得到位置。在图 2.22 中，是三边测量法的例子，其中给出的三个锚点是三个基站。通过半径为 d_1、d_2和 d_3的三个圆的交点，确定位置。

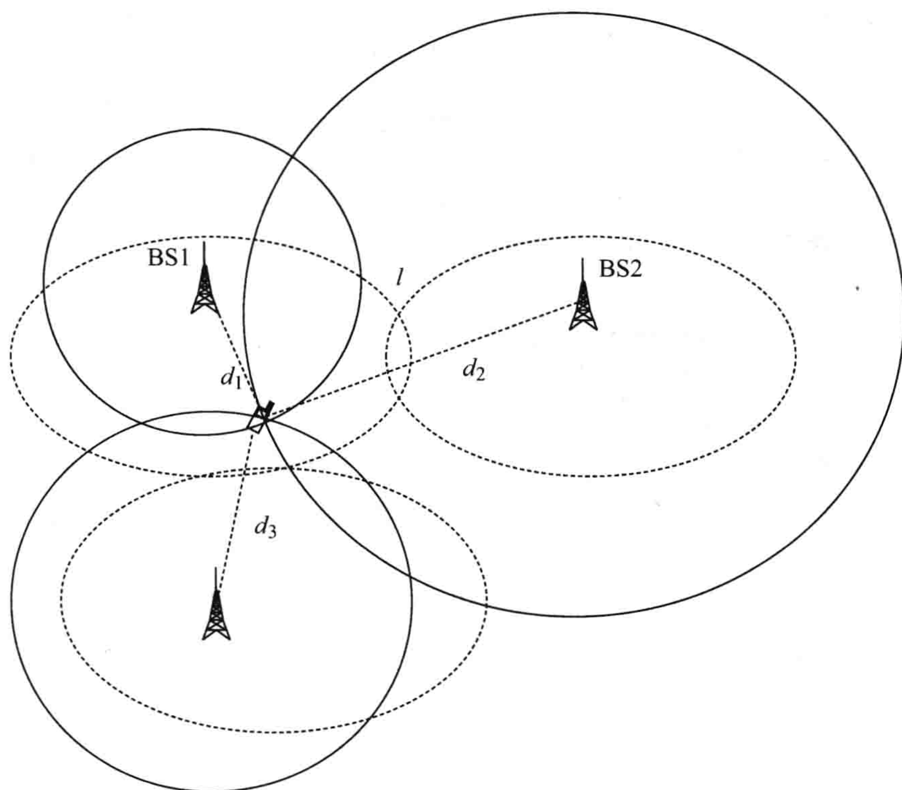


图 2.22　三边测量法的例子

在实际实现中，最普遍的方法有：

- **蜂窝标识符**（cell-Id）：是一种基于网络的方法，其中通过读取蜂窝广播信息，确定位置。cell-Id 识别一个蜂窝，它是被识别移动终端位置所在的区域。Cell-Id 是一种非常简单的方法，但近似精度为蜂窝大小，范围可从数十平方米变化到数十平方千米。
- **往返时间**（RTT）：该方法计算 RTT，确定一台移动终端和一个锚节点（即一个 BS）之间的距离。图 2.23 给出 RTT 与 cell-Id 组合使用的情况。
- **到达时间**（TOA）：将从移动站发出的一个信号到达三个或多个不同锚点的时间进行比较，确定一个二维位置。本质上来说，这是一种三边测量技术。到达时间的变种有到达时间差（TDOA）和观测的到达时间差（OTDOA）。
- **接收到的信号强度**（RSS）：通过测量一个已知信号的接收强度，估计移动

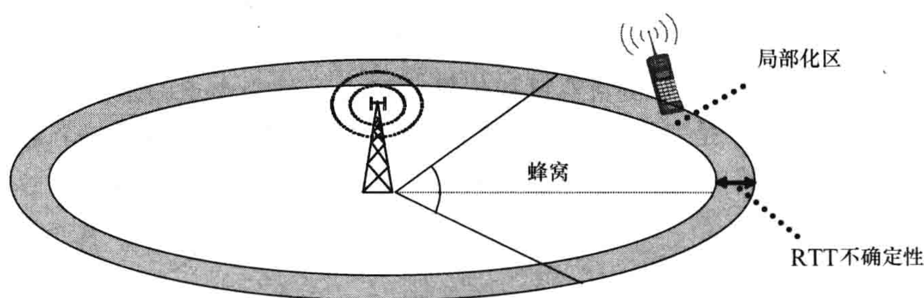


图 2.23 Cell-Id + 往返时间定位方法

站和两个或多个锚点之间的距离。这是一种三边测量技术。

- **到达角度**（AOA）：用于三角测量法中，因为它估计一个无线电波入射到一个天线上的传播方向。

当然，锚节点可以是基站，或在一个自组织网络中，是具有已知位置的其他终端。

2.2.1.5 自适应调制和编码

为了检测主用户的存在并为发送选择空闲频谱信道，在接收侧实施频谱感知。在发送侧，为避免对主用户的干扰，调整调制和编码方案和功率水平。

调制

在本小节，重新温习 QAM，目标是提供对有关参数和适配可能性的一个基本理解[28]。带有调制的发送链如图 2.24 所示。

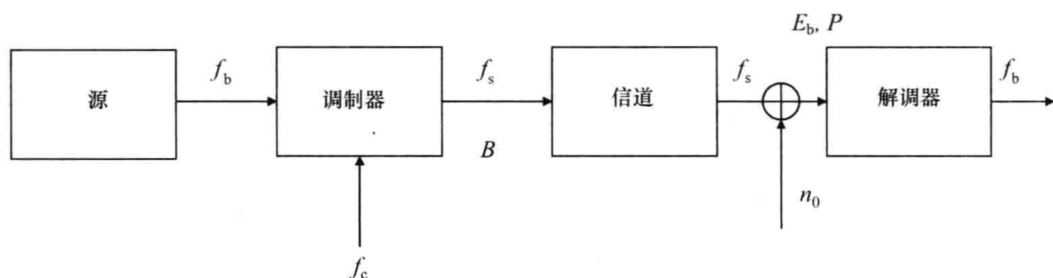


图 2.24 带有调制的发送链

源每秒钟发出 $f_b = 1/T_b$ bit，进行调制后在无线信道上发送。调制器每秒发出 f_s 个符号。被调制信号占据载波 f_c 周边的频带 B。噪声是加性的和高斯性的，功率谱密度为 n_0。由一个被调制信号占据的带宽 B 直接与符号频率 f_s 有关。一个线性调制信号所需最小带宽是

$$B_{min} = 2f_N = f_s \tag{2.22}$$

其中 f_N 是奈奎斯特频率。接收信号的功率 P 以下式与一个比特的能量 E_b 发生关系：

$$E_{\mathrm{b}} = PT_{\mathrm{b}} \tag{2.23}$$

信噪比 S/N 是

$$\frac{S}{N} = \frac{E_{\mathrm{b}} f_{\mathrm{b}}}{n_0 B} \tag{2.24}$$

信道容量的香农公式[29]为

$$C = B\log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \tag{2.25}$$

上式突出了带宽、信噪比和最大可取得容量 C 之间的关系。香农定理也确立了一个信道编码的存在，这允许在频带为 B 的一个信道上以速率 $f_{\mathrm{b}} \leqslant C$ 无差错地进行发送。考虑 $f_{\mathrm{b}} = C$，那么 $S = E_{\mathrm{b}}/T_{\mathrm{b}} = E_{\mathrm{b}} f_{\mathrm{b}} = E_{\mathrm{b}} C$ 和 $N = n_0 B$，则香农公式可重写如下：

$$\frac{C}{B} = \log_2\left(1 + \frac{E_{\mathrm{b}}}{n_0}\frac{C}{B}\right)\mathrm{bit/s/Hz} \tag{2.26}$$

香农曲线如图 2.25 所示，为不同发送技术间进行比较建立了一个界限和参考。

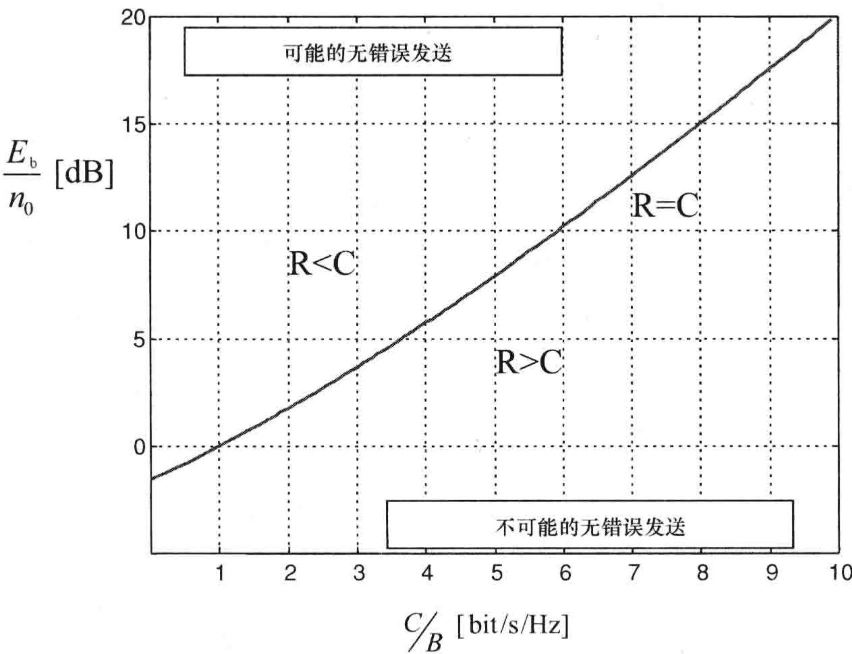


图 2.25　香农曲线

一个信号的极坐标表示法，通过某个幅度和相位的相量，描述了一次振荡。图 2.26a给出信号的相量表示：

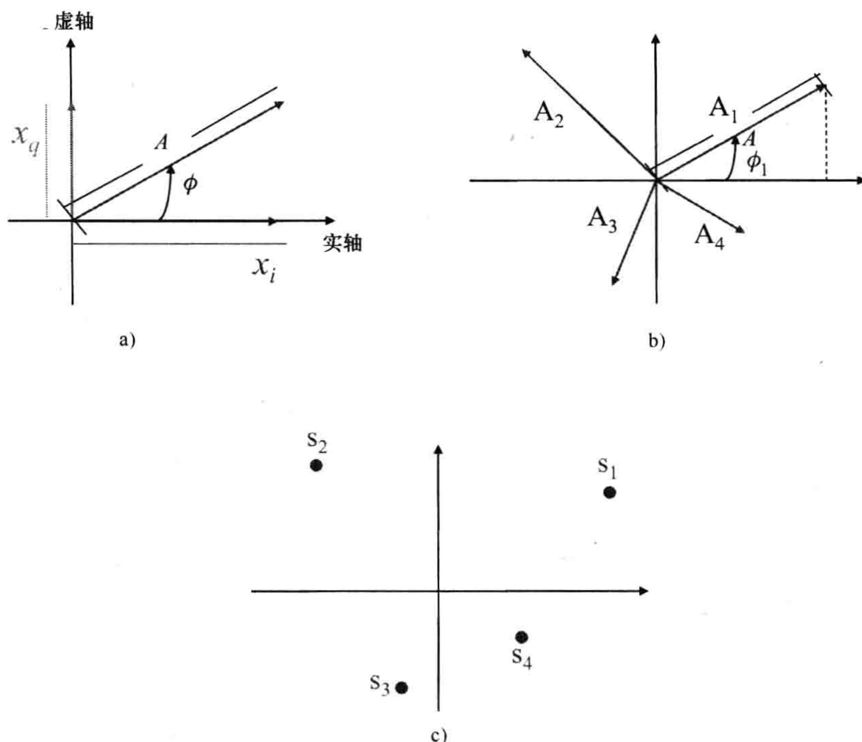
$$s(t) = A\cos(\omega_0 t + \varphi),\text{其中 } \omega_0 = 2\pi f_0 \tag{2.27}$$

考虑图 2.26a 中表示的两个正交相量 x_{i} 和 x_{q}，则信号 $s(t)$ 也可写为下式：

$$s(t) = x_{\mathrm{i}}\cos(\omega_0 t) + x_{\mathrm{q}}\sin(\omega_0 t) \tag{2.28}$$

图 2.26b 和图 2.26c 分别表示四个信号的相量表示和星座图，是由相量的末端

点得到的。



a）一个信号的相量表示 b）四个信号的相量表示 c）星座图

图 2.26

噪声概率密度函数 p（n）是零均值和 σ^2 方差的高斯性的：

$$p(n)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-x^2/2\sigma^2} \tag{2.29}$$

Q- 函数为

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^{\infty}e^{-\lambda^2/2}\mathrm{d}\lambda \tag{2.30}$$

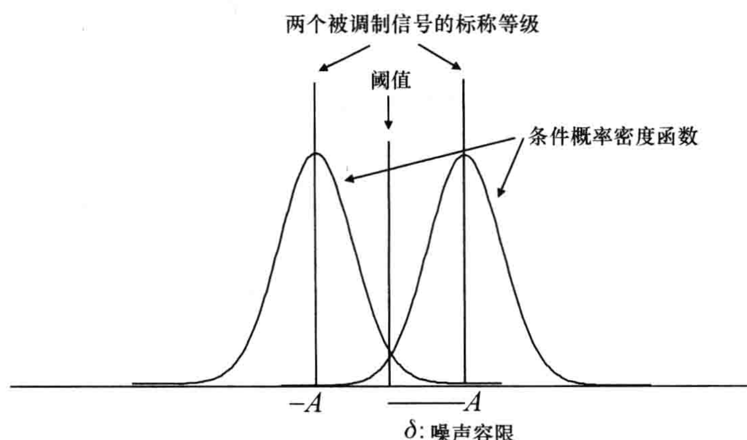
现在针对二进制幅度调制引入错误概率估计的一种简化方法，之后针对 QAM 做了扩展。在图 2.27 中代表一个 2PSK（移相键控）调制，幅度为 A，加性高斯噪声具有零均值和方差 σ^2。在那种情形中，错误概率如下给定：

$$P_e=\frac{1}{2}Q\left(\frac{\delta}{\sigma}\right)+\frac{1}{2}Q\left(\frac{\delta}{\sigma}\right)=Q\left(\frac{\delta}{\sigma}\right)=Q\left(\sqrt{\frac{\delta^2}{\sigma^2}}\right) \tag{2.31}$$

其中 δ 是噪声容限，$\sigma^2=n_0B$ 是噪声方差。对于 2PSK：

$$S=\frac{A^2}{2}=\frac{\delta^2}{2}=E_b f_b \tag{2.32}$$

那么



$$P_e = \frac{1}{2}Q\left(\frac{\delta}{\sigma}\right) + \frac{1}{2}Q\left(\frac{\delta}{\sigma}\right) = Q\left(\frac{\delta}{\sigma}\right)$$

图 2.27　一个 2PSK 调制的表示，幅度为 A，加性高斯噪声具有零均值和方差 σ^2

$$P_e = Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{n_0}}\right) \tag{2.33}$$

现在扩展所建议的方法来计算 4-QAM 和 16-QAM 的错误概率。那么给出准确的错误概率函数。图 2.28 给出噪声容限为 δ 的 4-QAM 和 16-QAM 星座图。

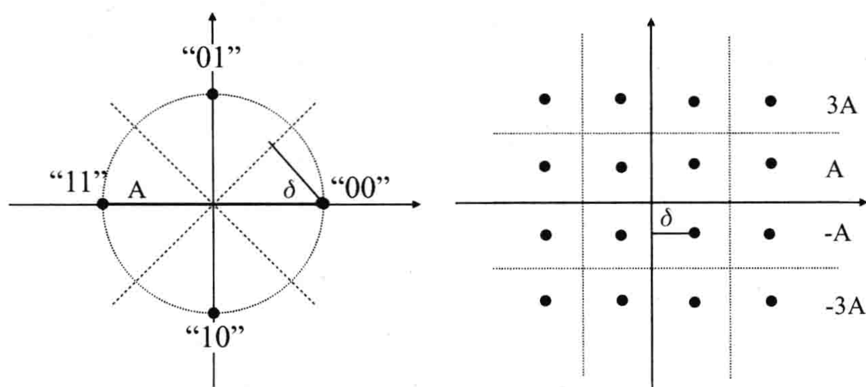


图 2.28　4-QAM 和 16-QAM 星座图

表 2.3 给出在本小节中所描述假定下，4-QAM、16-QAM 和 64-QAM 调制的主要参数。同样，假定 64-QAM 有噪声容限 δ。

在 QAM 调制中，我们以下式逼近错误概率 P_e：

$$P_e \cong Q\left(\sqrt{\frac{\delta^2}{\sigma^2}}\right) \tag{2.34}$$

表 2.3 4-QAM、16-QAM 和 64-QAM 的参数

	4-QAM	16-QAM	64-QAM
占据的带宽	$B=2f_N=f_s=f_b/2$	$B=2f_N=f_s=f_b/4$	$B=2f_N=f_s=f_b/6$
噪声容限	$\delta=A/\sqrt{2}$	$\delta=A$	$\delta=A$
平均发送功率	$S=A^2/2=\delta^2$	$S=5A^2=5\delta^2$	$S=21A^2=21\delta^2$
噪声功率	$n_0B=n_0f_b/2$	$n_0B=n_0f_b/4$	$n_0B=n_0f_b/4$

由表 2.3，我们可计算：

- 对于 4-QAM：$\delta^2=S=E_bf_b$，$\sigma^2=\dfrac{n_0f_b}{2}$和 $P_e\cong Q\left(\sqrt{\dfrac{2E_b}{n_0}}\right)$
- 对于 16-QAM：$\delta^2=\dfrac{S}{5}=\dfrac{E_bf_b}{5}$，$\sigma^2=\dfrac{n_0f_b}{4}$和 $P_e\cong Q\left(\sqrt{\dfrac{4E_b}{5n_0}}\right)$
- 对于 64-QAM：$\delta^2=\dfrac{S}{21}=\dfrac{E_bf_b}{21}$，$\sigma^2=\dfrac{n_0f_b}{6}$和 $P_e\cong Q\left(\sqrt{\dfrac{2E_b}{7n_0}}\right)$

针对 QAM 的错误概率推导的建议方法，不是严格的，但却给出调制参数及其关系的一个良好理解。固定占据的带宽 B，如果调制基数（调制符号数）增加，则频谱效率也增加，但为得到相同的错误概率，要求较高的信噪比。图 2.29 给出 $P_e=10^{-6}$时 4-QAM、16-QAM 和 64-QAM 相对于香农曲线的位置。

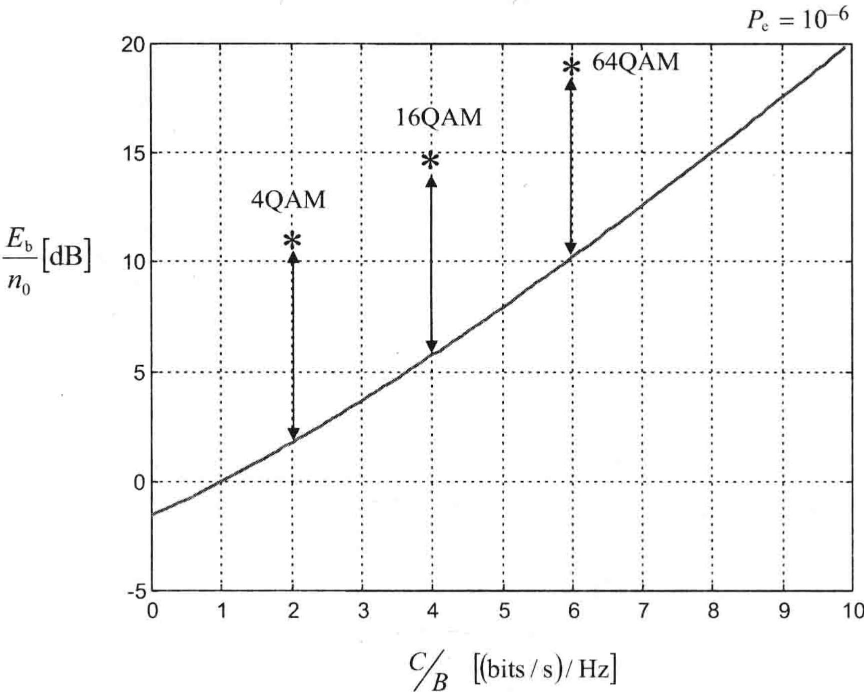


图 2.29 $P_e=10^{-6}$时 4-QAM、16-QAM 和 64-QAM 相对于香农曲线的位置

QAM 的准确错误概率如下给定：

$$P_e = \left(1 - \frac{1}{L}\right)4Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{n_0}\frac{3\log_2 L}{L^2 - 1}}\right) \tag{2.35}$$

式中　L^2 是 QAM 符号数。如果 C 是香农容量，f_b 是发送系统的比特率（参见图 2.14），定义为信噪比间隙或简单地称为间隙，即

$$\gamma = \frac{2^{2C} - 1}{2^{2f_b} - 1} \tag{2.36}$$

那么真实比特率 f_b 为

$$f_b = B\log_2\left(1 + \frac{S/N}{\gamma}\right) \tag{2.37}$$

间隙 γ 是选中调制和错误概率 P_e 的一个函数。

编码

在本小节，重新回顾了纠错编码的原理，目标是提供所涉及参数和适配可能性的基本理解。图 2.30 给出带有调制和编码的发送链。

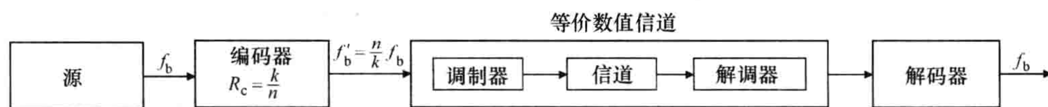


图 2.30　带有调制和编码的发送链

二进制源每秒发送 f_b 个比特。以编码率 k/n 对比特实施编码。在编码器的输出端，比特率以 $f'_b = (n/k)f_b$ 增加。那么，信道编码要求比一个未编码的发送要求的带宽要高。此外，在编码器的输出端与一个比特关联的能量是 $E'_b = (k/n)E_b$。

使用纠错编码的优势是，就一个未编码发送而言，得到编码增益，如图 2.31 所示。编码增益是以 SNR 表示的增益，通过与一个未编码发送而言的某个纠错编码，针对一个给定错误概率 P_e 得到的。在图 2.31 中，“uncoded”（未编码的）曲线指 4-QAM 的曲线，而“coded”(编码的）曲线指相同调制和具有 $k/n = 15/31$ 的一个 BCH 纠错编码的曲线。在那种情况下，$P_e = 10^{-6}$ 的编码增益是 $cg \approx 3$dB。在如图 2.30 所示的情形中观察到，编码仅给出 $E_b/n_0 \geq 4$dB 的增益。

图 2.32 给出一个未编码 4-QAM 发送和以卷积码编码（编码率为 1/2、1/3 和 1/4）的相同发送下的曲线。对于所用的相同编码，即有相同约束长度的卷积码，编码率 $R_c = k/n$ 越高，则对相同错误概率 P_e 的编码增益就越大。约束长度指编码器内存的比特数，它影响 n 个输出比特的产生。

因为发送方案（调制器和编码器）的选择取决于接收侧的信噪比，所以为将信道状态通知给发送器，需要一个报告规程。

图 2.33 给出在下行链路数据发送情形中一个信道反馈报告规程的例子。接入网节点将调制和编码方案（MCS）（数据接收必须使用）通知移动站；在数据接收

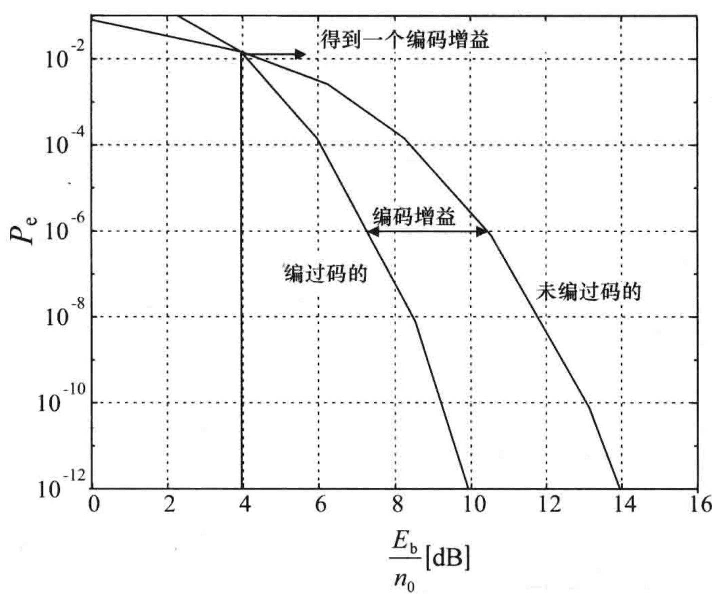


图 2.31 编码和未编码发送的 P_e 曲线例子

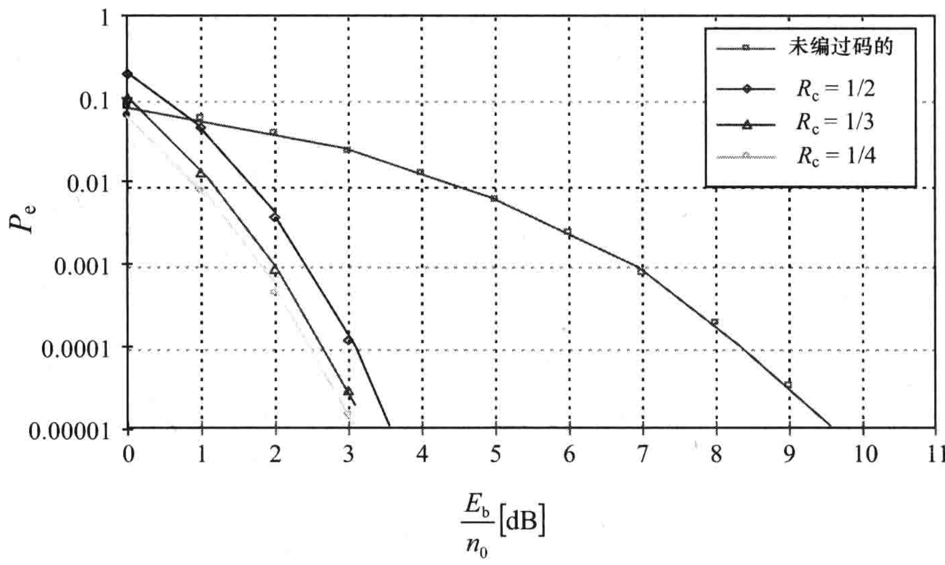


图 2.32 约束长度 =9 和不同编码率之卷积码的 P_e 曲线例子

之后，MS 发送带有信道测量结果的一条反馈，这些结果将用于后续发送的 MCS 计算。

在图 2.34 中，给出上行链路发送。在那种情形中，从接入点测量信道，接入点将 MCS 指派给 MS。该规程调整调制和编码方案适配接收器测量的 SNR，这称作自适应调制和编码（AMC）。



图 2.33　在下行链路数据发送情形中信道反馈报告规程的例子



图 2.34　上行链路数据发送例子

混合自动重复请求

自动重复请求（ARQ）是无线电链路控制（RLC）层的一项功能，它使用一种错误检测码来验证正确地接收到一个 RLC-PDU（RLC-分组数据单元）。为一次正确的接收，发送一个正面确认；为错误检测，发送一个负面确认。在后一种情形中，重发分组。

混合 ARQ（HARQ）是这样一种技术，自适应地将一个纠错编码与一个循环冗余校验（CRC）组合，用于错误检测。有三种 HARQ：

- 类型Ⅰ HARQ：在错误检测的情形中，丢弃 RLC-PDU，并请求重发。与 ARQ 相同。
- 类型Ⅱ HARQ：也称作 ARQ 增量冗余（IR）。在这种情形中，接收时有错误的一个 RLC-PDU 没有被丢弃，而是与后续重传中发送的增量冗余（不是可自解码的）组合在一起。
- 类型Ⅲ HARQ：与前一种情形是不同的，原因是它使用可自解码的重传。在这种情形中，不丢弃接收到的有错误的一个 RLC-PDU，且可以相同或不同的编码比特集进行重传。接收器操作所接收各 RLC-PDU 的软组合。如果被重传的 RLC-PDU 与第一次发送具有相同的编码比特，那么组合就被称作追踪组合（chase combining）。如果重传的 RLC-PDU 有不同的编码比特，则这种类型 III HARQ 属于 IR HARQ。相比追踪组合法，增量式冗余取得较好的性能，但在接收侧要求更多的缓冲内存。

图 2.35 以编码率 $R_c = 1/3$ 和不同削弱（puncturing）方案情形中以范例说明类型 II HARQ。在编码之后采用削弱一些冗余位去除，由此以较少冗余产生一个编码发送。

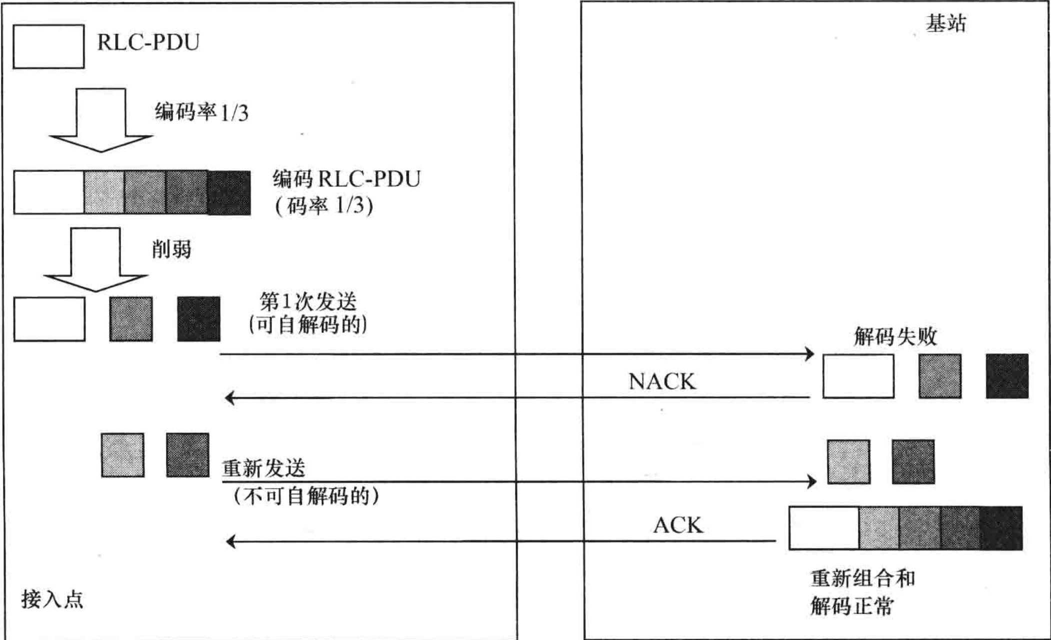


图 2.35　编码率 $R_c = 1/3$ 和不同削弱（puncturing）方案下类型 II HARQ 的例子

图 2.36 给出类型 III IR HARQ 的一个例子，其中重传带有增量式冗余。事实上，在第一次发送中，仅发送信息比特（C1），编码率 R_c 等于 1。因为错误检测码（即 CRC）揭示一些错误，所以存储 RLC-PDU，并请求一次重传。在第二次发送

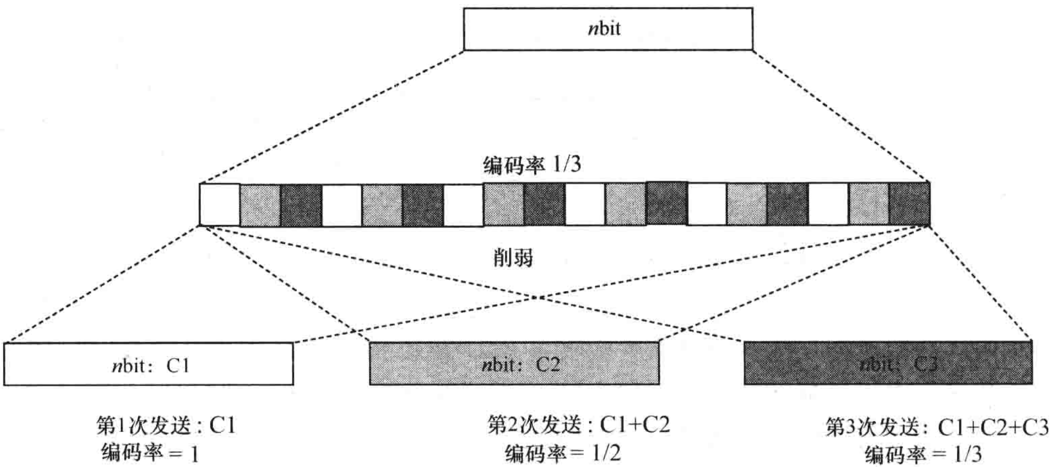


图 2.36　类型 III 增量冗余 HARQ 的例子

中，以编码率 $R_c = 1/2$（发送 C1 + C2）发送 RLC-PDU。同样，在第二次发送中，错误检测码揭示一些错误。则存储 RLC-PDU，并请求一次重传。在第三次发送中，以编码率 $R_c = 1/3$（发送 C1 + C2 + C3）发送 RLC-PDU。组合所有接收到的信息，得到正确的信息比特。

协同 HARQ

协同通信使用从邻居节点听到的信息，在两个网元（移动终端、接入节点[30-33]）之间提供鲁棒的通信。图 2.37 给出有三个节点的协同通信的一个例子。它涉及一个源 S、一个目的地 D 和一个中继节点 R。

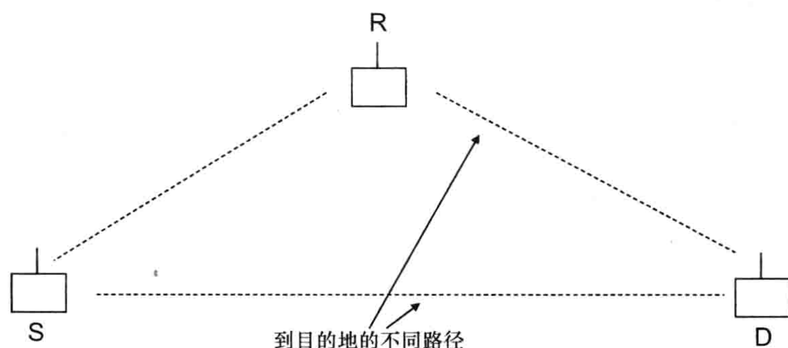


图 2.37　有中继的一个协同网络的例子

可在物理层实现协同，产生发送多样性并改进在接收侧的 SNR。例如，中继 R 可将由源 S 发送的信号进行放大并转发。目的地将接收到携带相同信息的两个信号，它们经历不同的信道。也可在无线电链路控制（RLC）层通过一种协同 HARQ 方案，或在 PHY 和 RLC（无线电链路控制）通过 AMC 和 HARQ，这两种方案实现协同。

协同 HARQ 的一个例子如下：源发送一条 RLC-PDU，它包含一个 CRC。在计算 CRC 之后，目的地为正确的接收发送一条 ACK，为不正确的接收发送一条 NACK。如果从中继接收到一条 NACK，且正确地接收到分组，则它使用 HARQ 技术（即仅是发送增量冗余或以不同方式编码的分组）将分组重传到目的地。目的地将后续的重传重新组合，这些重传可以是或不会是可自解码的。

2.2.1.6　发送功率控制

为检测主用户的存在并为发送选择空闲频谱信道，在接收侧实施频谱感知。在发送侧，除了 AMC 和 HARQ 外，调整功率水平，以便避免对主用户的干扰[34-36]。

所考虑的场景是一个频谱感知认知无线电系统，其中一个二级无线电发送器检测由主用户占据的频带，并在不对主用户造成干扰的情况下，使用频谱洞（hole）进行通信。所描述的场景如图 2.38 所示。

基于从环境感知的所有信息，二级发送器改变发送功率。必须应用一条功率控制规则，以便确保主系统所需的服务质量（QoS）。此外，可限制一个二级用户所

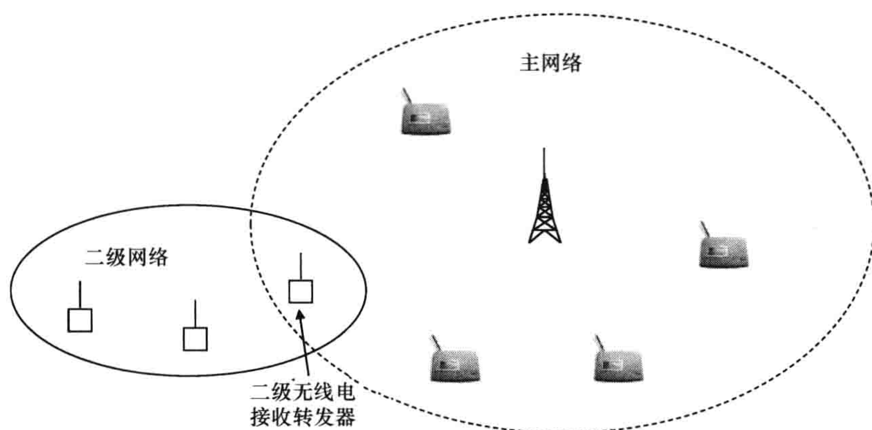


图 2.38 有主网络和二级网络的场景

允许的最大功率，这取决于制度规则和/或其位置。假定一个二级用户可以最大功率 P_{max} 进行发送。

一种非常简单的方法基于二进制检测，其中二级用户感知频谱，并确定在某个频带中是否存在一名主用户。如果检测到一名主用户，则二级用户就不发送；否则它以最大功率 P_{max} 发送。这种方法的成功仅取决于成功检测的概率。

一种不同的方法提供一种功率适配方案，其中二级用户可将发送功率从零变化到 P_{max}，这里功率是所感知信息的一个函数，目标是最小化对主用户的干扰，并最大化二级用户的性能。在文献［35］中，表明了基于二进制检测的功率控制得到最优的二级用户 SNR 性能。

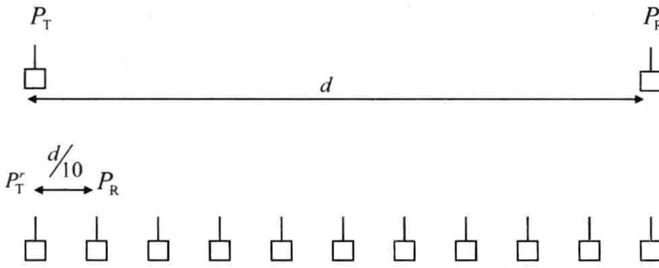
另一方面，最大化二级用户容量、在主接收器处具有最大发送功率和平均干扰约束的功率适配方案，是范围从 0 变化到 P_{max} 的一种连续适配功率控制，并取决于感知的度量元（例如可以是观测到的总功率或观测信号与一个已知序列之间的相关关系，等）[35]。

在协同通信的情形中，使用中继的方法，意味着低的功率水平和对主用户的低干扰。图 2.39 给出一个非常简单的例子，表明一条直接链路发送和有 10 个中继的一次发送。对于直接链路，发送器和接收器之间的距离是 d，而在 N 个中继的情形中是 d/N。在一条直接链路的情形中，发送功率是 P_T，而在 N 个中继的情形中是 P_T^r。我们假定在两种情形中都接收到功率 P_R。在自由空间和直接链路的情形中，接收到的功率是

$$P_R = \alpha P_T d^{-2} \tag{2.38}$$

在自由空间和 N 个中继的情形中，接收到的功率是

$$P_R = \alpha P_T \left(\frac{d}{N}\right)^{-2} \tag{2.39}$$



发送功率（自由空间 – 2.0 丢失指数）→ $P_T^r = \frac{P_T}{100}$

发送功率（室内 – 3.5 丢失指数）→ $P_T^r \cong \frac{P_T}{3162}$

图 2. 39　在一条直接链路和 10 个中继的情形中发送功率比较的例子

那么接收相同功率 P_R 所需的发送功率，对于有 N 个中继的情况是直接链路情况的 N^2 倍。

在 3. 5 的损失指数情形（即室内损失）中，接收功率是

$$P_R = \alpha P_T d^{-3.5} \tag{2.40}$$

在自由空间和 N 个中继的情形中，接收功率是

$$P_R = \alpha P_T \left(\frac{d}{N}\right)^{-3.5} \tag{2.41}$$

那么接收相同功率 P_R 所需的发送功率，对于有 N 个中继的情况是直接链路情况的 $N^{3.5}$ 倍。图 2. 39 给出有 10 个中继的特殊情形。

2. 3　全感知无线电介绍

对于频谱感知认知无线电终端和网络，频谱使用可在不同无线电接入技术间进行优化。在这种语境中，可考虑具有不同自由度的新场景：从无许可证认知无线电终端（运行在一个有许可证频谱欠利用的时间和区域）的情形到一个有许可证运营商（使用在其网络内的认知无线电增加无线电资源的高效实用，通过有许可证运营商进行频谱协同使用）的场景。

认知无线电也可开放一种场景，其中针对频谱交换可以一个逐小时（hour-to-hour）市场中管理频谱资源。在一个全认知无线电中，针对适配和网络优化，考虑可由一个无线节点或网络观测的每个可能参数。一个全认知无线电得到网络和终端侧的可重新配置无线电系统。所考虑的场景是以一个独特的基于分组的核心网连接的异构接入网络，如图 2. 40 所示。

在这种场景中，无线电终端实现所有的或部分的可用 RAT，并自治地或与网

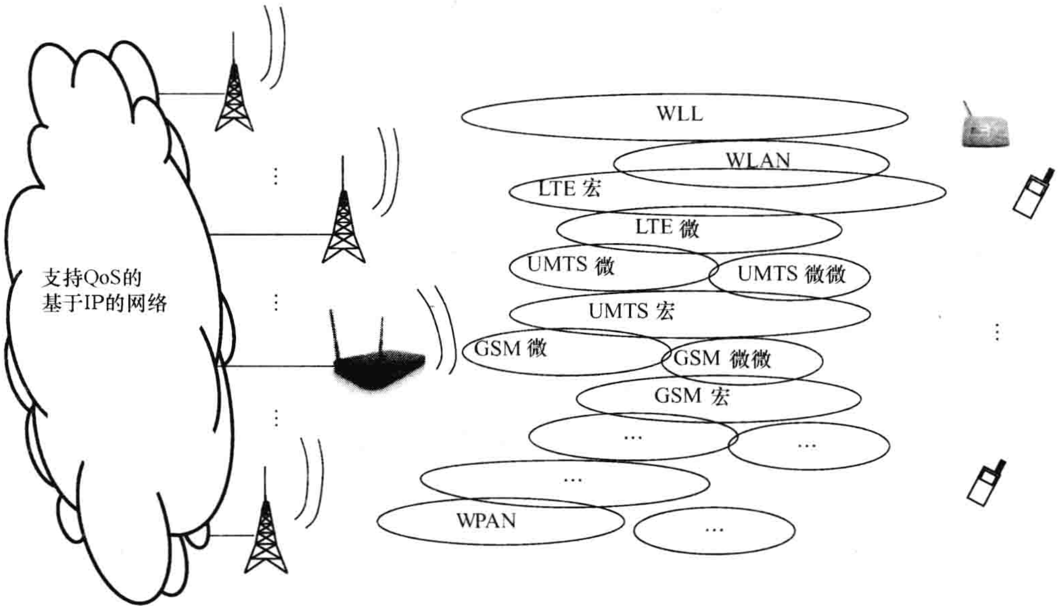


图 2.40 异构接入网络场景

络一起选择要连接在服务功能和/或网络使用优化内的最佳 RAT。为达到这个目标，在 MAC 层必须实现新的较高层算法，像动态系统/网络接入、系统/网络发现和负载均衡，如图 2.41 所示。在本书其他章给出这种算法的例子。

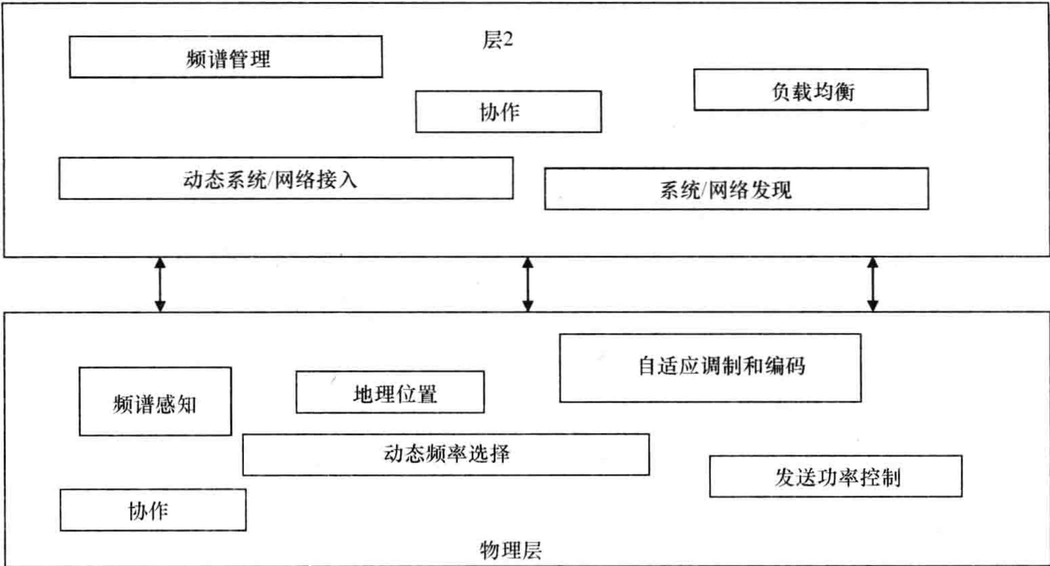


图 2.41 另一个异构接入网络场景

参考文献

1. Schuster, H.G. (2001) *Complex Adaptive Systems: An Introduction*, Scator Verlag.
2. Mitola III, J. and Maguire Jr, G.Q. (1999) Cognitive radio: making software radios more personal. *IEEE Personal Communications*, **6** (4), August, 13–18.
3. Chen, K.-C. and Prasad, R. (2009) *Cognitive Radio Networks*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
4. Čabrić, D., Mishra, S.M. and Brodersen, R.W. (2004) Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios, in The Thirty-Eighth Asilomar Conference on *Signals, Systems and Computers*, 2004.
5. Čabrić, D. and Brodersen, R.W. (2005) Physical layer design issues unique to cognitive radio systems, in IEEE 16th International Symposium on *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2005.
6. Qiu, R., Nan Guo, N., Husheng Li, H., Wu, Z., Chakravarthy, V., Song, Y., Hu, Z., Zhang, P. and Chen, Z. (2009) A unified multi-functional dynamic spectrum access framework: tutorial, theory and multi-GHz wideband testbed. *Sensors*, **9**, 6530–6603; doi: 10.3390/s90806530.
7. Maharjan, S., Po, K. and Takada, J.-I. (2007) Energy Detector Prototype for Cognitive Radio System. IEICE Technical Report.
8. Zeng, Y., Koh, C.L. and Liang, Y. (2008) Maximum eigenvalue detection: theory and application, in IEEE International Conference on *Communications (ICC)*, May 2008.
9. Zeng, Y. and Liang, Y. (2007) Covariance based signal detections for cognitive radio, in *Proceedings of 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, Chicago, IL, 17–20 April 2007, pp. 202–207.
10. Wei, L. and Tirkkonen, O. (2011) Analysis of scaled largest eigenvalue based detection for spectrum sensing, in IEEE International Conference on *Communication*, 2011.
11. Nadler, B., Penna, F. and Garello, R. (2011) Performance of eigenvalue-based signal detectors with known and unknown noise level, in IEEE International Conference on *Communication*, 2011.
12. Wax, M. and Kailath, T. (1985) Detection of signals by information theoretic criteria. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, **ASSP-33** (2), April, 387–392.
13. Kay, S.M. (1998) *Fundamentals of Statistical Signal Processing: Detection Theory*, vol. 2, Prentice Hall.
14. Kim, K., Akbar, I.A., Bae, K.K., Um, J.-S., Spooner, C.M. and Reed, J.H. (2007) Cyclostationary approaches to signal detection and classification in cognitive radio, in 2nd IEEE International Symposium on *New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, 2007.
15. Po, K. and Takada, J.-I. (2007) Signal Detection Method Based on Cyclostationarity for Cognitive Radio. IEICE Technical Report.
16. Baldo, N., Asterjadhi, A. and Zorzi, M. (2009) Cooperative detection and spectrum reuse using a network coded cognitive control channel. *IEEE Network SI on Multi-Hop Cognitive Radio Networks*, **23** (4).
17. Unnikrishnan, J. and Veeravalli, V.V. (2007) Cooperative spectrum sensing and detection for cognitive radio, in *IEEE Global Telecommunications Conference*, 2007.
18. Mishra, S.M., Sahai, A. and Brodersen, R.W. (2006) Cooperative sensing among cognitive radios, in IEEE International Conference on *Communications, ICC 2006*, vol. 4, June 2006, pp. 1658–1663.
19. Visotsky, E., Kuffner, S. and Peterson, R. (2005) On collaborative detection of TV transmissions in support of dynamic spectrum sharing, in First IEEE International Symposium on *New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, DySPAN 2005*, November 2005, pp. 338–345.
20. Cao, L., Yang, L. and Zheng, H. (2010) The impact of frequency-agility on dynamic spectrum sharing, in IEEE International Symposium on *New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, DySPAN 2010*.
21. QinetiQ, Ltd. (2006) A Study of the Provision of Aggregation of Frequency to Provide Wider Bandwidth Services. Final report for Office of Communications (Ofcom), UK, QINETIQ/06/01773, August 2006.
22. Macrothink Institute (2010) *Spectrum Aggregation: Overview and Challenges. Network Protocols and Algorithms*, vol 2, no. 1; ISSN 1943-3581 2010.
23. Chen, D., Zhang, Q. and Jia, W. (2008) Aggregation aware spectrum assignment in cognitive ad-hoc networks, in 3rd International Conference on *Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications*.
24. Wang, X., Yang, C. and Zhou, J. (2008) Spectral aggregation for clustering ensemble, in 19th International Conference on *Pattern Recognition*.
25. Etkin, R. (2006) Spectrum Sharing: Fundamental Limits, Scaling Laws, and Self-Enforcing Protocols. EECS Department, University of California, Berkeley Technical Report UCB/EECS 2006-168, 11 December 2006.

26. Etkin, R., Parekh, A. and Tse, D. (2007) Spectrum sharing for unlicensed bands. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **25** (3), April, 517–528.
27. Roxin, A., Gaber, J., Wack, M. and Nait-Sidi-Moh, A (2007) Survey of wireless geolocation techniques,in IEEE Globecom Workshops.
28. Giaconi, M., Iacobucci, M.S., Semenzato, P. and Guidotti, M. (2000) An easy way to teach digital transmissions, in *Proceedings of the 11th Annual Conference on the EAEEIE*, 26–28 April 2000, Ulm, Germany.
29. Shannon, C.E. (1948) A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, **27**, July, 379–423; October, 623–656.
30. Lin, Z., Erkip, E. and Ghosh, M. (2005) Adaptive modulation for coded cooperative systems, in IEEE 6th Workshop on *Signal Processing Advances in Wireless Communications*, 2005.
31. Mardani, M., Harsini, J.S., Lahouti, F. and Eliasi, B. (2008) Joint adaptive modulation-coding and cooperative ARQ for wireless relay networks, in IEEE International Symphosium on *Wireless Communication Systems*, 2008.
32. Liu, P., Tao, Z., Lin, Z., Erkip, E. and Panwar, S. (2006) Cooperative wireless communications: a cross layer approach. *IEEE Wireless Communications*, **13** (4), August, 84–92.
33. Hamdi, K. and Letaief, K.B. (2009) Cooperative communications for cognitive radio networks. *Proceedings of the IEEE*, **97** (5), May, 878–893.
34. Hamdi, K., Zhang, W. and Letaief, K.B. (2007) Power control in cognitive radio systems based on spectrum sensing side information, in IEEE International Conference on *Communications*, 2007.
35. Srinivasa, S. and Jafar, S.A. (2010) Soft sensing and optimal power control for cognitive radio. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **9** (12), December, 3638–3649.
36. Hoven, N. and A. Sahai, A. (2005) Power scaling for cognitive radio, in *Proceedings WCNC*, Maui, HI, June 2005, vol. 1, pp. 250–255.

第3章　3GPP标准中的自组织网络特征

3.1　自组织网络

一个自组织网络（Self-Organized Network，SON）是这样一个网络，为优化网络性能，它能够自调整配置参数。为了自动化无线电网络参数的配置，以便改进性能、降低故障、降低运营和维护成本，以及优化网络设备、覆盖和能量消耗，引入了高级的网络管理特征。在3GPP标准发行版本8[1]中引入了SON的概念，这与下一代移动网络（NGMN）联盟的愿景是一致的。

NGMN联盟是“共享、评估并驱动焦点为LTE&EPC（演进的分组核心）及其演化的移动宽带技术的一个论坛”。NGMN提供有关SON和O&M（运营和维护）需求的建议和关键用例[2-4]，是3GPP技术规范的引导。NGMN给出用例的高层次描述，这考虑到3GPP的技术规范扩散使用。使用案例的例子有：无线电参数的自动优化，告警，过程和应用的运营支撑系统（OSS）自动化，以及能量节省。

自组织网络可分为如下群组：

- 分布式的，如果SON算法是在单元管理器层次或网元内部实现的；
- 中心式的，如果SON功能是由现有网络管理形体提供的或驻留在一个外部管理节点内的。中心式SON功能是在网络管理层次实现的；
- 混合的，如果SON算法是在单元管理层次和网络管理层次实现的。

在分布式SON中，每个网络节点带有附加的管理功能，并做出自治优化决策。管理系统仅设置高层次SON策略，则网络节点和管理系统之间的信令得以最小化。收集测量数据、分析和应用优化策略所需的时间是快速的，但可能发生网络不稳定性。

在中心式SON中，自组织功能是集中在管理系统中的。在这种情形中，从计算角度看，网络节点得到释放，但网络管理系统和网络节点之间就需要额外的信令，而且必须考虑SON决策中的有关时延。混合SON处于中间位置，部分SON算法分布在网络节点，部分SON算法集中在管理系统。

在中心式和混合式SON中，多目标优化是可能的，且运营商能够控制整个优化过程。

图3.1给出分布式和中心式SON概念。

如今，运营商不得不管理不同3GPP无线电接入技术（RAT），像GSM/GPRS/EDGE、UMTS/HSPA/HSPA+和LTE，它们工作在不同的无线电频率且在宏蜂窝、

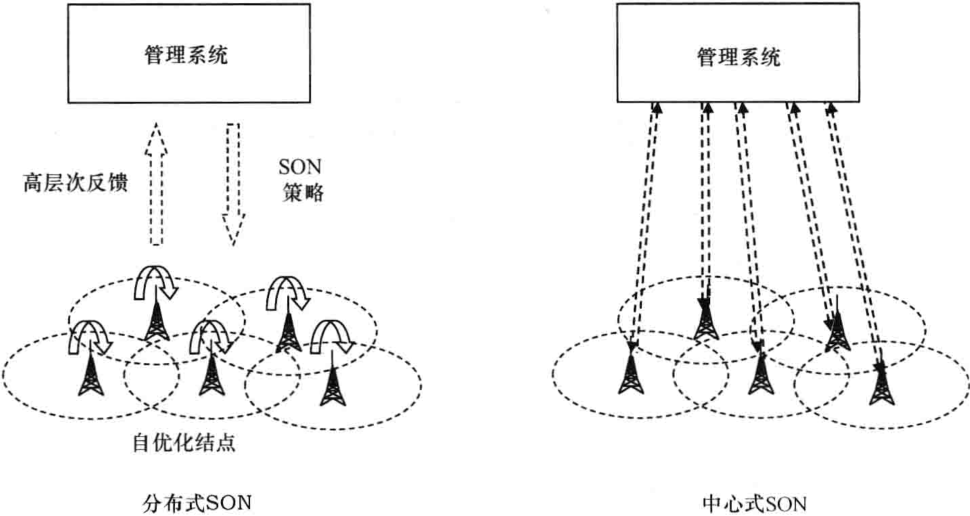


图 3.1　分布式和中心式 SON 的概念

微蜂窝、微微蜂窝和毫微微蜂窝的多层次覆盖。目标是优化整个无线电移动网络的管理，这里通过在一个多厂商、多无线电接入技术场景中工作的一个中心式优化过程加以实现的。优化过程提供对一个中心式优化实体的支持，该实体收集测量数据，并实施一个闭环过程，其中它选择参数，评估性能并将优化得到的参数返回给网络节点。

图 3.2 给出一个多无线电接入技术网络的一种可能架构，其中接入网络节点由单元管理器（EM）管理，一般而言是厂商相关的，它连接到一个中心式优化实体即网络管理器（NM），NM 联合地控制单元管理的分布式过程。单元管理器与网络管理器一起形成运营支撑系统（OSS）。在接入网络节点间，仅有 LTE 网元实现自优化算法，这在本章的 3.3 节描述。

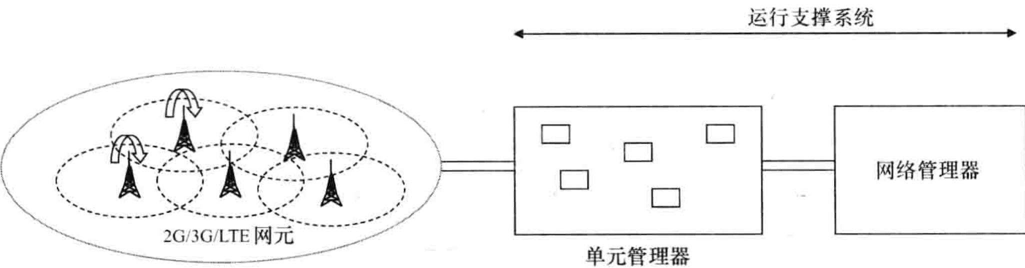


图 3.2　一个多无线电接入技术网络管理架构的例子

3.1.1　告警

在一个日渐增长的多技术接入网络场景中，识别和纠正故障的任务正日渐变得

困难。一个电信网络中的故障，以由网络节点产生的告警形式报告到管理中心。非常常见的情况是，通过由不同节点产生的不同告警可正确地识别一个故障。由不同告警携带的一些信息是冗余的，其他的则是不必要的。

告警的设计必须考虑到网络结构（单个节点不知道网络架构），告警必须是事件触发的（仅当需要时才发送），而且为正确识别故障，必须考虑告警关联。可通过引入一项处理功能达到这个目标，该功能抑制冗余告警，进行告警关联，处理乱序的事件，一般而言处理大量告警，并以发送到管理中心（MC）的少量有意义信息而降低告警数。MC 产生故障的自动解析。这个过程如图 3.3 所示。管理中心处在 NM 层次和 EM 层次。通过在 NM 层次建立告警报告和故障解析策略，运营商维护故障解析的控制。

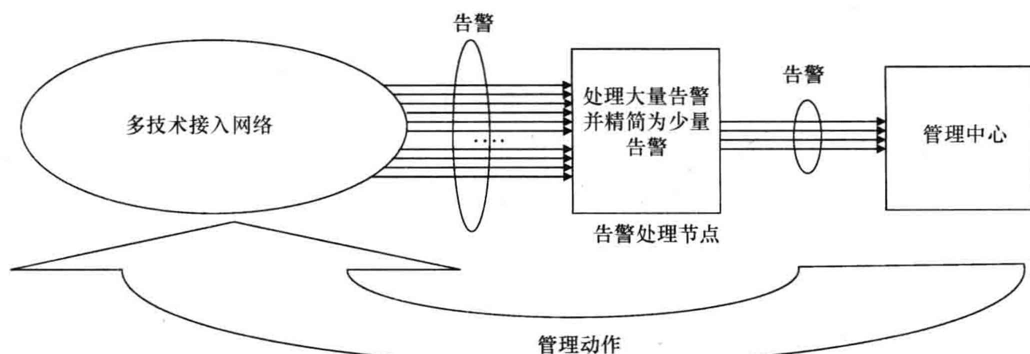


图 3.3　告警处理和故障解析的例子

3.1.2　运营支撑系统自动化

运营支撑系统（OSS）自动化有助于降低运营成本，增加运营效率并增强服务质量。在一个多技术接入网络场景中，一个场景的 OSS 可有助于管理接入网络和核心网络的所有网元。在这个场景中，一个中心式管理应用实现策略，并管理各种活动，像一个网元的健康检查、软件下载、软件升级和正确的动作。网络的硬件和软件变化应该自动化地改变告警的特征及其处理。

OSS 的一个非常有益的演化是云 OSS。云计算模型将面向服务的方法扩展到网络“云”。云计算是作为一个模型出现的，该模型急剧地改变了硬件和软件资源的开通上线[5]。架构是多租户的，即资源是在不同用户间共享的。2011 年 9 月，美国国家标准和技术研究所（NIST）给出云的一个定义：“云计算是支持对可配置计算资源的一个共享池之（例如网络、服务器、存储、应用和服务）泛在的、方便的、应需的网络访问的一个模型，这些资源可以最小的管理付出或服务提供商交互加以快速地开通上线和释放”[6]。

云计算包括使用连接到互联网的服务器中存储的 IT（信息技术）资源的所有

学科、技术和商务模型，其中依据一个应需的、每次使用支付的模型。IT 资源可以是应用、软件服务、计算平台、存储系统等。

因此，云计算是通过三项关键单元的融合设想 IT 服务提供的一种新风格：

- 设施计算：计算资源的使用被看作一件总是可用的、总是可测量的商品，采用一种每次使用支付模型适配用户需求。
- 计算资源虚拟化：通过创建逻辑资源，虚拟化抽象低层物理基础设施。这是云计算的一项支持性特征，因为这降低了开通上线的时间和成本，并将计算机设备的部分成本从 CAPEX 转移到 OPEX。
- 软件即服务：是将软件应用看作服务的新方式，是可重用的和可互操作的。

也可将云计算分类为

- *私有云*：支持将服务交付到被选中的消费者群体。私有云的一个模型是社团云。在这种情形中，将服务提供给具有共同兴趣的用户，并受到适当的服务水平协议（SLA）或安全策略的约束规范。私有云可由使用私有云的组织、第三方或二者的某种组合体拥有、管理和运营，且它可存在于前端或不在前端（premise）[6]。
- *公众云*：由一个云服务提供商维护，并通过公众互联网将服务交付给所有顾客。
- *混合云*：包括私有云和公众云的特点。

图 3.4 给出私有、公众和混合云的一个例子。

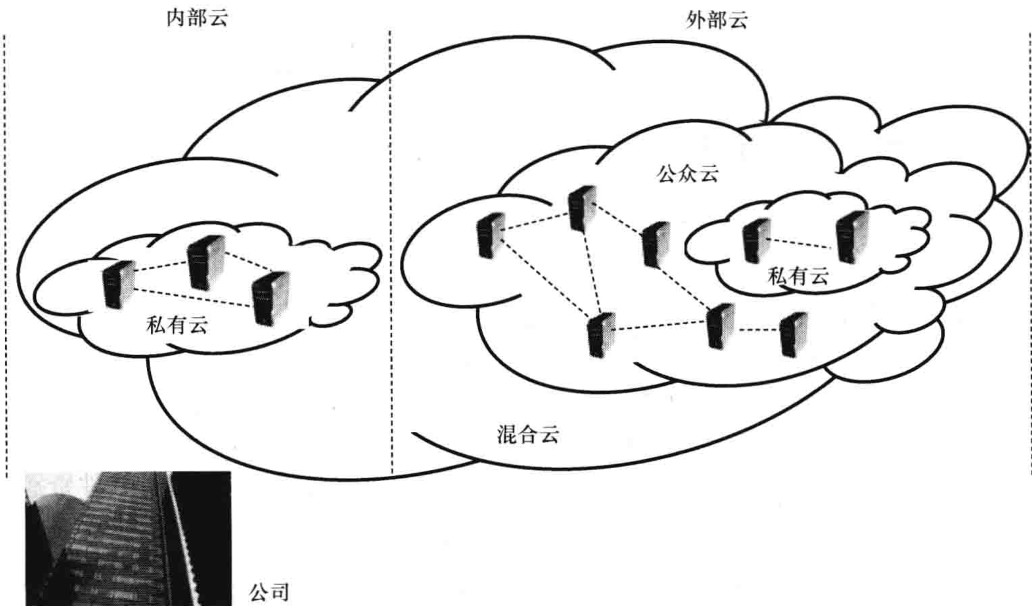


图 3.4　私有、公众和混合云的例子

如果将一个运营支撑系统的网络管理应用放入云，则这就是云 OSS。运营支撑系统云服务可提供技术和灵活性的合适组合，例如以不同的网络负载动态地使用

OSS 资源。

一个 OSS 必须是一个私有云，因为其用户是网络节点的单元管理器。大型电信公司将也许内部管理 OSS 云，而小型或中心电信公司将有应需使用云 OSS 服务的机会，是完全支持 Web 方式的和安全的，通过降低的运行支出和采用一种按次支付的模型。一个云 OSS 要求实时处理。这个模型如图 3.5 所示。

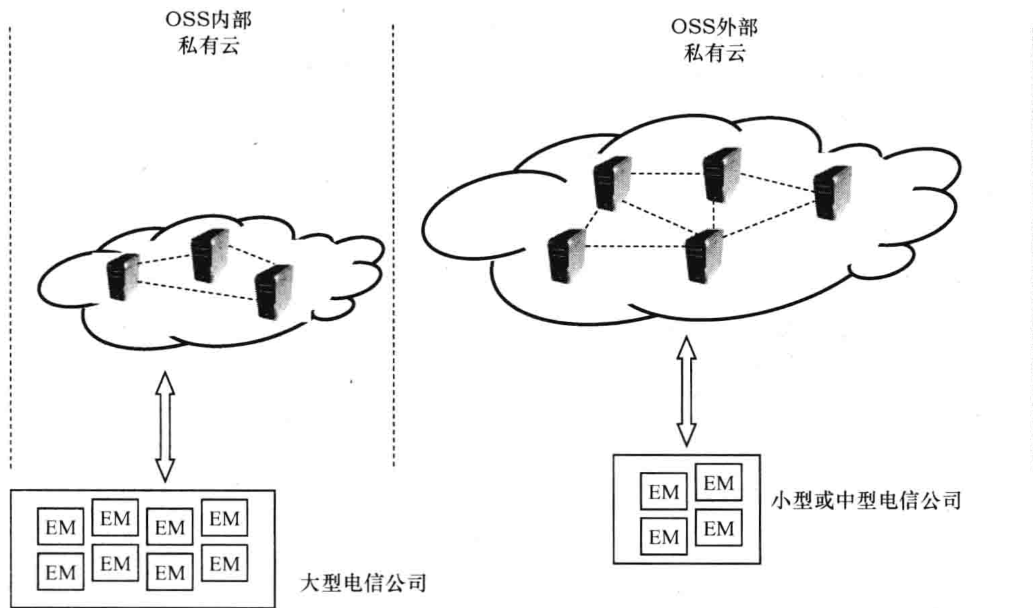


图 3.5　OSS 私有云服务的例子

3.1.3　能量节省

对于一个电信公司，与能量消耗相关的有大量运营成本。在过去，出于节省成本的原因，在夜间要关闭一些低流量节点，即使他们将丢失一些流量时也这样做。

对于在没有流量丢失情况下的成本优化，能量节省的自动化是本质要求。采用能量节省自动化，一个网络节点将能够自适应地将未用资源关闭或使之处于闲置模式（standby mode），目的是为服务实际用户而消耗必要的最小能量。这些资源可以是一定数量的子载波、处理模块或发送链路，也许采用精细粒度加以管理，目的是为了完美地将工作资源与流量总量相匹配。

与网络资源的激活或去活一起，所涉及节点及其邻居的一种新的参数化过程必须是自动地执行的。例如，如果因为低流量而关闭一些子载波，则逻辑信道映射必须加以更新。如果一个蜂窝或一个节点被完全关闭，则各邻居将不得不重新安排无线电参数，像输出功率、电倾角（electrical tilt）和切换阈值，以便保障服务所要求的质量。关闭/打开一些资源的决策基于流量阈值。

在一个多无线电接入技术场景中，无线电参数的优化涉及不同技术的蜂窝。这

是为什么能量节省过程应该由一个中心式优化中心加以控制。

用于无线电能量节省策略的一种可能架构和流图如图 3.6 所示。在例子中，有不同的接入结点，像 LTE eNB、UMTS NB、GSM BTS。所有节点周期性地将流量报告发送到一个管理中心（MC），由之确定一些无线电资源是否可关闭。在决策之后，管理中心将可被关闭的资源通知每个节点，并更新无线电资源。

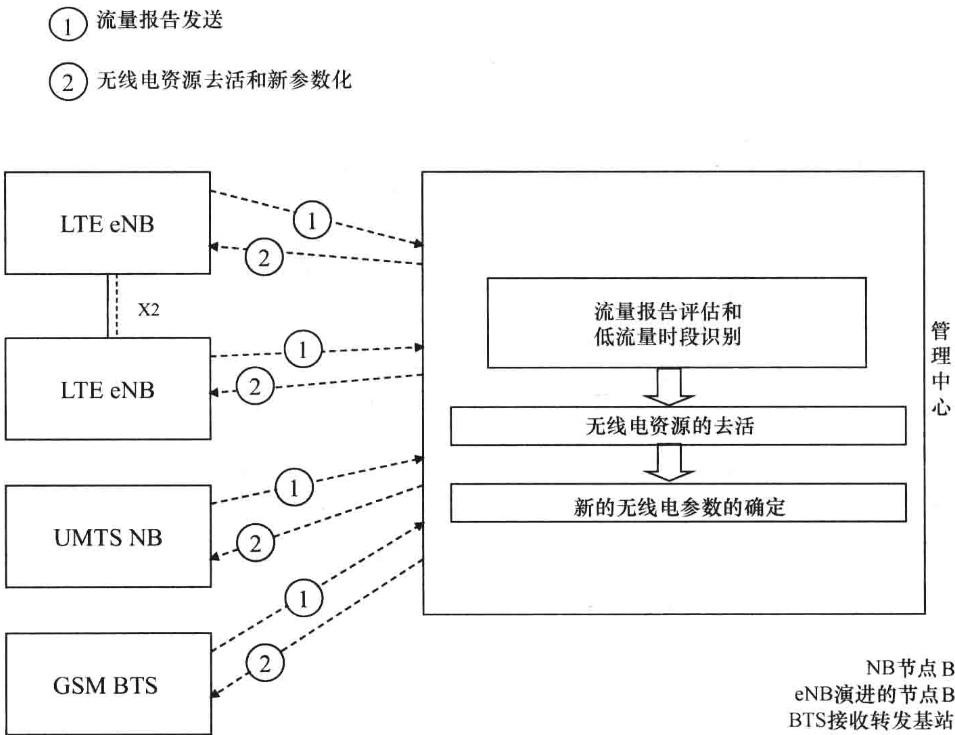


图 3.6 通过无线电资源去活实现能量节省的架构的例子

也可在每个节点中完成流图的第一步，这是流量报告的评估和低流量周期的识别，在图中显示为处在 MC 内；仅有低于/高于阈值的流量报告才被发送到 MC。在这种情形中，相比其处理资源，到 MC 的信令量将相当低。在这种部分分布式方法中，如果必要，管理中心将流量阈值调整发送到各节点。

有一些关注点要考虑，像当资源被关闭时维护 QoS 要求和当参数改变时维护网络的稳定性。管理中心处在网络管理器（NM）层次和单元管理器（EM）层。通过为报告、能量节省动作和无线电网络新参数化建立策略，运营商可在网络管理器层次维护能量节省过程的控制。

3.2 LTE 概述

在第 1 章中描述了 LTE 网络架构和无线电接口。在本节，概要介绍 LTE 网络

架构和无线电功能特征。LTE 网络架构由一个接入网络（演进的 UTRAN（E-UTRAN））连接到一个核心网络（演进的分组核心（EPC））。LTE 网络架构如图 3.7 所示。

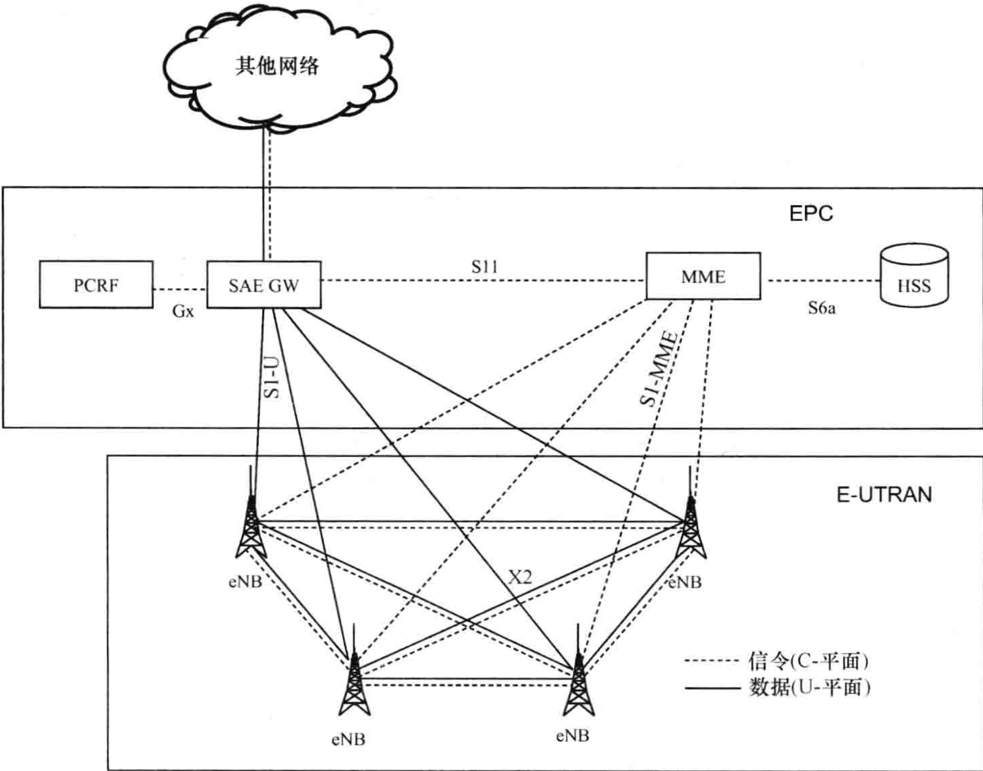


图 3.7　LTE 网络架构

E-UTRAN 给出一个扁平架构，它由互联的演进节点 B（eNB）组成。由一个 eNB 实施的主要功能是无线电资源管理（RRM）、移动性管理（MM）、IP 首部压缩和用户数据的加密、在一个 UE 附接处一个 MME 选择、将用户数据路由到一台网关、控制消息（寻呼、广播）的调度和传输、针对移动性和调度之测量和测量报告配置。

无线电接口基于下行链路的正交频分多址（OFDMA）和上行链路的单载波 FDMA（SC-FDMA）。双工可以是时分双工（TDD）和频分双工（FDD）；带宽是可变的，从 1.4MHz 到 20MHz。最小可分配无线电资源是资源块（RB），这是由 12 个子载波组成的一个群载波，每个子载波在一毫秒时间内有 15kHz 宽。在下行链路中支持多输入多输出（MIMO）天线，配置形式为 2×2 和 4×4。实现自适应调制和编码，比特率取决于带宽、MIMO 配置、调制和编码率。表 3.1 给出下行链路物理比特率如何取决于发送参数；表 3.2 给出上行物理比特率如何取决于发送参数。

表 3.1 LTE 下行链路物理比特率

调制	码率	MIMO	带宽/MHz					
			1.4	3	5	10	15	20
QPSK	1/2	单条流	0.8Mbit/s	2.2Mbit/s	3.7Mbit/s	7.4Mbit/s	11.2Mbit/s	14.9Mbit/s
16-QAM	1/2	单条流	1.5Mbit/s	4.4Mbit/s	7.4Mbit/s	14.9Mbit/s	22.4Mbit/s	29.9Mbit/s
16-QAM	3/4	单条流	2.3Mbit/s	6.6Mbit/s	11.1Mbit/s	22.3Mbit/s	33.6Mbit/s	44.8Mbit/s
64-QAM	3/4	单条流	3.5Mbit/s	9.9Mbit/s	16.6Mbit/s	33.5Mbit/s	50.4Mbit/s	67.2Mbit/s
64-QAM	1	单条流	4.6Mbit/s	13.2Mbit/s	22.2Mbit/s	44.7Mbit/s	67.2Mbit/s	89.7Mbit/s
64-QAM	3/4	2×2（空间复用）	6.6Mbit/s	18.9Mbit/s	31.9Mbit/s	64.3Mbit/s	96.7Mbit/s	129.1Mbit/s
64-QAM	1	2×2 SM	8.8Mbit/s	25.3Mbit/s	42.5Mbit/s	85.7Mbit/s	128.9Mbit/s	172.1Mbit/s
64-QAM	1	4×4 SM	16.6Mbit/s	47.7Mbit/s	80.3Mbit/s	161.9Mbit/s	243.5Mbit/s	325.1Mbit/s

表 3.2 LTE 上行链路物理比特率

调制	码率	MIMO	带宽/MHz					
			1.4	3	5	10	15	20
QPSK	1/2	单条流	0.9Mbit/s	2.2Mbit/s	3.6Mbit/s	7.2Mbit/s	10.8Mbit/s	14.4Mbit/s
16-QAM	1/2	单条流	1.7Mbit/s	4.3Mbit/s	7.2Mbit/s	14.4Mbit/s	21.6Mbit/s	28.8Mbit/s
16-QAM	3/4	单条流	2.6Mbit/s	6.5Mbit/s	10.8Mbit/s	21.6Mbit/s	32.4Mbit/s	43.2Mbit/s
16-QAM	1	单条流	3.5Mbit/s	8.6Mbit/s	14.4Mbit/s	28.8Mbit/s	43.2Mbit/s	57.6Mbit/s
64-QAM	3/4	单条流	3.9Mbit/s	9.7Mbit/s	16.2Mbit/s	32.4Mbit/s	48.6Mbit/s	64.8Mbit/s
64-QAM	1	单条流	5.2Mbit/s	13Mbit/s	21.6Mbit/s	43.2Mbit/s	64.8Mbit/s	86.4Mbit/s

在无线电信道的基础上选择调制和编码方案（MCS），这是从 eNB 的上行链路和从移动站（MS）的下行链路估计得到的。作为无线电条件的一个函数，指派下行链路无线电资源，是通过信道反馈报告规程实施的。在 eNB 发送过程中，MS 测量下行链路信道，并作为一条反馈，将对应于调制和编码方案（MCS）的信道质量指示指标（CQI）和传输块尺寸（TBS）发送，其中估计的接收下行链路传输块错误率（BLER）不要超过 10%。TBS 是在一个 TTI 中携带的数据量。

秩指示器（rank indicator，RI）和预编码矩阵指示器是 MIMO 的被反馈参数。RI 指明被估计信道矩阵 $\boldsymbol{H}$ 的秩，且等于可使用空间流数。它与整个系统带宽有关。如果采用一个闭环的 MIMO 配置，则 PMI 指明一个码表中的首选预编码矩阵。

在演进的分组核心（EPC）中，信令和数据是分离的，并由不同节点管理。移动性管理实体（MME）通过 S1-MME 接口连接到 eNB，它携带控制平面消息。系统架构演进网关（SAE GW）通过 S1-U 接口连接到 eNB，它携带用户平面消息。归属用户服务器（HSS）是所有永久用户数据的存储库，像用户概要和认证、加密

和完整性保护所用的永久密钥。它也存储在被拜访网络控制节点层次（例如MME）的用户位置。MME管理移动性、MS实体和安全参数。

SAE网关可被分成两个网关：服务网关（SGW）和分组网关（PGW）。SGW的主要任务是IP路由和IP分组转发。它是eNB切换（HO）和当用户在3GPP接入技术间移动时的用户平面锚点。PGW被连接到SGW和外部网络。它负责QoS，且当MS在3GPP和非-3GPP无线电接入技术间移动时，它是用户平面锚点。一个MS可有到一个以上PGW的同时接入（例如可接入到不同的分组数据网络）。SAE网关也可实施分组过滤和将IP地址分配到移动站。

包括在EPC中的最后一个单元是策略和计费资源功能（PCRF），它以Gx接口（仅是信令）连接到PGW。它实现策略和计费规则，并细化策略和计费控制请求。

假定LTE核心网通过标准接口连接到2G/3G网络，如图3.8所示。多亏标准接口，可实施电路交换备份（fallback）（CSFB）和RAT（无线电接入技术）间切换。在发行版本8中引入电路交换备份（CSFB），并支持一个移动站（MS）注册到LTE域，使用GSM/GPRS/EDGE或UMTS/HSPA/HSPA+域中的电路交换服务。

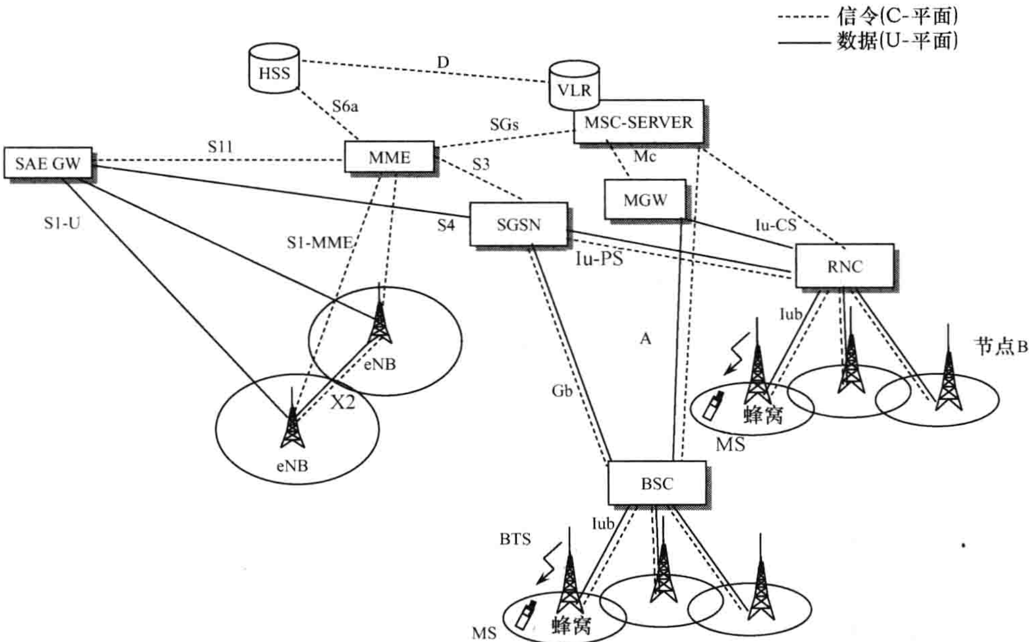


图3.8　带有接口的2G/3G/4G网络架构

LTE的演进版本，它是LTE高级版本，从3GPP标准发行版本10开始被标准化，它引入新的无线电功能特征，改进上行链路和下行链路中的频谱效率，并增加蜂窝边缘吞吐量。在LTE高级版本中引入的主要功能特征是：

- 支持较宽的带宽：为支持大于20MHz直到100MHz的发送带宽，针对LTE高级版本，考虑汇聚两个或多个分量载波，每个载波有高达20MHz的带宽；

- 扩展的 MIMO 配置：在下行链路考虑高达 8×8 的 MIMO 配置；在上行链路考虑高达 8×8 的 MIMO 配置；
- 协同的多点（CoMP）发送和接收：这个特征改进高数据率覆盖和蜂窝边缘吞吐量。下行链路协同多点发送，意味着在多个地理上隔离的发送点间的动态协同；
- 中继：用来改进高数据率覆盖、蜂窝边缘吞吐量。

载波汇聚和扩展的 MIMO 配置增加频谱效率，而 CoMP 和中继则增强蜂窝边缘吞吐量和覆盖。

3.3 LTE 家庭 eNB

一个家庭 eNB（HeNB）是一个 LTE 毫微微蜂窝。一个毫微微蜂窝是一个低功率家庭基站，连接到宽带接入网络。毫微微蜂窝用于室内覆盖，提供话音和数据服务。网络架构如图 3.9 所示。

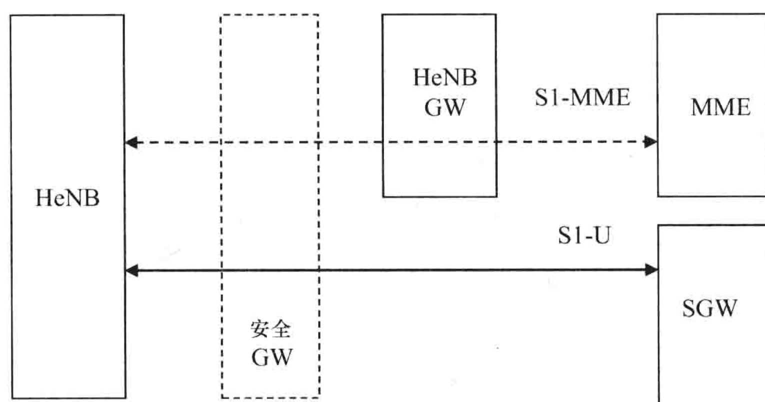


图 3.9 家庭 eNB 网络架构

eNB 被连接到一台 eNB 网关，从各 eNB 看来它作为一个移动管理实体。安全网关支持为回传链路建立一条安全隧道。家庭 eNB（HeNB）被连接到一台宽带接入设备，这保障与接入网络的宽带连接。宽带接入设备也可与 HeNB 集成。宽带接入设备的例子有光线路终结器（OLT）、VDSL 调制解调器等。HeNB 功能和接口与 eNB 的相同，增加一些功能。

HeNB 的接入策略基于 eNB 蜂窝标识符，依据 3GPP 标准发行版本 8，可以是：

- 封闭的：主要用户驻地用户。HeNB 被定义为一个封闭的用户组（CSG）蜂窝，且接入控制位于网关内；
- 开放的：允许所有用户访问 HeNB。

在 3GPP 标准发行版本 9 中，引入了一种混合接入策略。在这种情形中，属于

CSG 的用户可被排定优先级并与未定阅的用户采取不同的收费。

因为 HeNB 一般位于顾客端（premise），其配置和维护必须采用一条远程连接进行处理。管理功能和接口被标准化，以便支持多厂商环境。图 3.10 给出 HeNB 管理架构，它由一个 HeNB 管理系统组成，管理系统通过一个类型 1 接口连接到许多 HeNB。

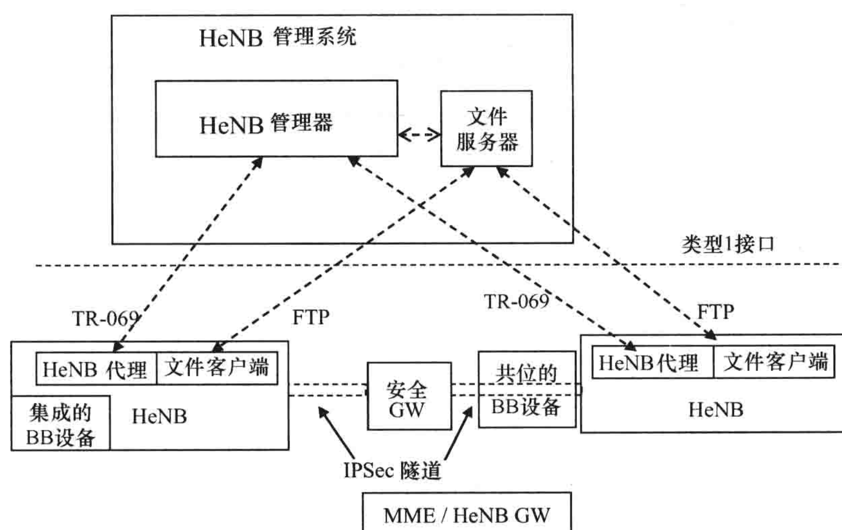


图 3.10　HeNB 管理架构

HeNB 管理系统（MS）处理不同功能，例如：

- HeNB 管理系统的发现和指派；
- HeNB 的身份和位置确认；
- 从 MS 将软件下载到 HeNB；
- 针对性能管理（PM），来自 HeNB 的主要性能指示器（KPI）开通准备；
- HeNB 配置管理（CM）、故障管理（FM）、性能管理（PM）。

在 3GPP 标准发行版本 9 种引入类型 1 接口的规程流，并在发行版本 10 和 11[7] 中得到增强。

当 HeNB 打开时，它必须与家庭 eNB 管理系统（HeMS）和其他网络节点（像移动性管理实体（MME））建立一条连接。针对网络节点间的通信使用互联网协议（IP）。HeNB 必须能够获取 HeMS 的 IP 地址，并通过 HeMS 得到 MME 的 IP 地址。在此时点，设置 S1 接口。安全网关在 HeNB 和 HeMS 之间以及 HeNB 和 MME 之间建立一条安全连接。

在 HeMS 中实现一个文件服务器，在 HeNB 中实现文件客户端。作为一个可选功能特征，客户端-服务器文件架构包括 HeNB 配置，它使用一个文件下载规程。HeNB 发现和注册规程如图 3.11 所示[7]。

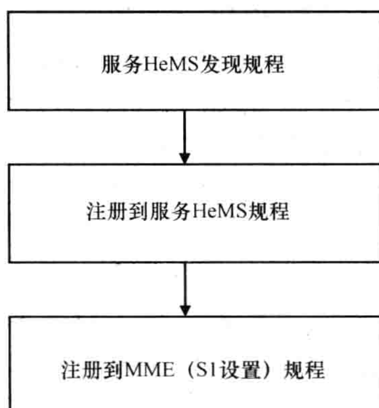


图 3.11　发现和注册规程

在技术报告 069（TR-069）[8]中宽带论坛定义了 HeNB 远程管理的应用层协议。它处理的功能如：

- 自动配置和动态服务激活：HeNB 的初始和远程配置；
- HeNB 固件管理：版本和更新管理；
- HeNB 状态和性能监测：日志文件的分析、诊断服务、连接控制；
- 诊断、告警。

驻留在 HeNB 管理系统内的 HeNB 管理器是一个 TR-069 管理器。使用文件下载规程（可选的）HeNB 配置如图 3.12 所示[7]。

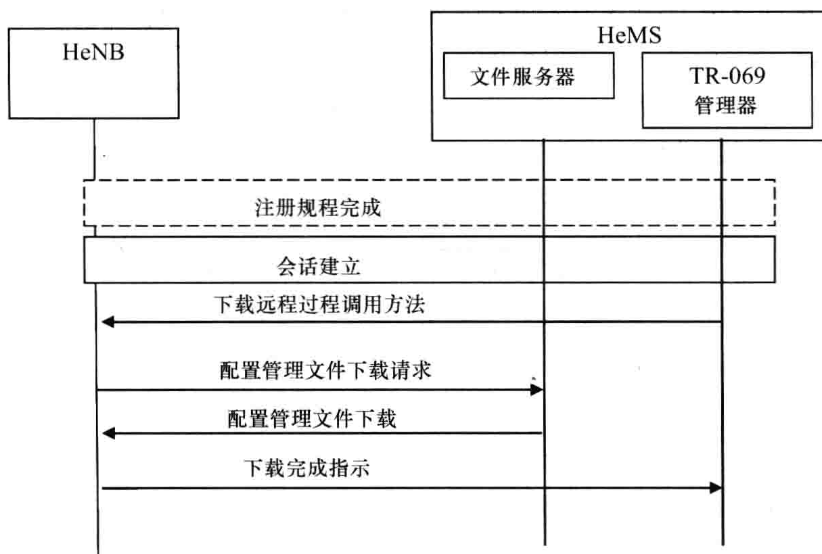


图 3.12　使用文件下载规程（可选的）HeNB 配置

在注册规程完成之后，在 eNB 和 TR-079 管理器之间建立一个 TR-069 会话。

TR-069 管理器发送远程规程调用（RPC）方法，它必须使用（包括）文件类型、源文件位置的 URL、到文件服务器之连接的用户名和口令，以及文件尺寸[8]。在请求之后，配置管理（CM）文件被下载，该规程完成时有一条通知。

家庭 eNB 配置也可通过使用 SetParameterValues 方法（必备的）而加以实施，这是从 eMS 触发的，配置 HeNB 中的参数。从管理器发送到 HeNB 的新参数被应用，并发回一条应答。所描述的规程如图 3.13 所示，当注册规程完成以便配置 HeNB，或在告警报告或性能管理（PM）报告的规程之后，可以被运行或加以使用。在后一种情形中，使用参数配置规程解决产生告警的故障，或在 PM 报告之后优化性能。为进行周期性参数更新，也可运营配置规程。



图 3.13 使用 SetParameterValues 方法的 HeNB 参数配置规程

3.4 LTE 和自组织网络

在 3GPP 标准发行版本 8 中引入 LTE 和 EPC。在该标准的第一发行版本中包括了自组织网络（SON）特征，并在后续发行版本中进行了更新和扩充。为什么从一开始就考虑自组织网络的原因是，无线电移动网络的快速演进产生了要计划和管理的多个复杂参数的一个多无线电接入技术网络。SON 满足运营商的需要，他们必须在最小人类干预的情况下配置和优化所有网络节点的参数化过程。图 3.14 给出从 3GPP 标准发行版本 8 到发行版本 11 所提供的主要 SON 功能[9]。

在发行版本 8[10] 中定义了自组织网络的概念和需求，并在后续发行版本中做了更新[11]。各项需求提供了一个场景，其中网络可在多个运营商间共享。在开始时 SON 功能将在运营商控制下（开环），且仅当运营商信任自组织特征的良好工作运行时，它才会逐渐地切换到闭环，这意味着网络将自动地运行在 SON 功能的控制之下。各项需求也支持 SON 操作，并在运营支撑系统（OSS）内提供 SON 能力，

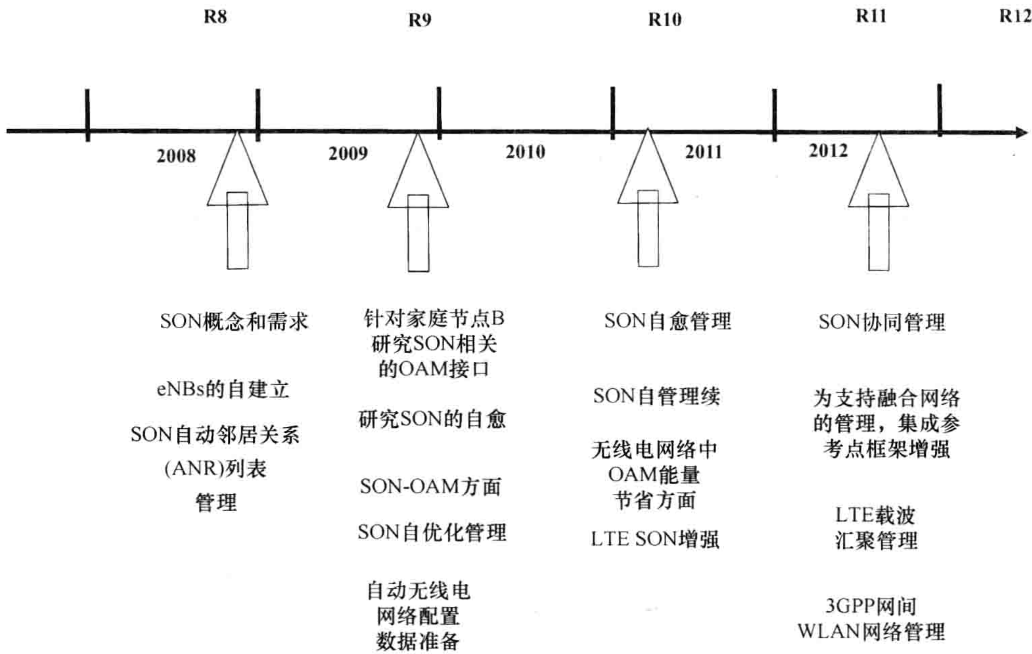


图 3.14 3GPP 发行版本准中 LTE SON 的主要功能

并为如下功能定义接口：

- 在网络中一个新 eNB 的自建立过程；
- 在 E-UTRAN、UTRAN 和不同 3GPP 无线电接入技术之间邻居关系列表的自动化；
- eNB 的自配置和自愈；
- 自动覆盖和容量优化；
- 由于排错，进行参数优化；
- 由于网络中的动态变化，进行连续优化；
- 自动化切换优化；
- 与无线电参数有关的 QoS 优化。

3.4.1 一个新 eNB 的自建立过程

在发行版本 8[12] 中识别出一个新 eNB 自建立过程的概念和需求，并在后续发行版本中更新和扩展到网元自配置的概念和需求[13]。这个场景是许多 eNB 通过 X2 接口互联并通过 S1 接口连接 EPC 节点的 LTE 接入网络。eNB 可来自不同厂商，并可在不同运营商间共享。自配置的参考模型由许多功能块组成，如图 3.15所示。

控制自配置过程的自配置监测和管理功能（SC-MMF）被分成两部分。第一部分在单元管理器层次实现，并称作自配置检测和管理功能单元管理器（SC_ MMF_

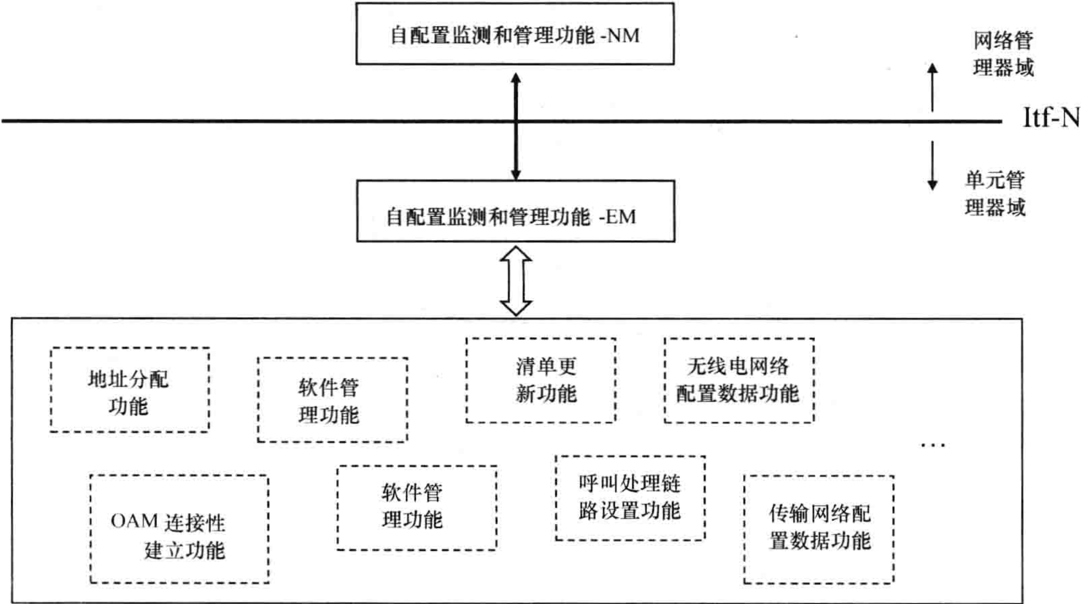


图 3.15 自配置参考模型

EM)；它能够得到信息并向所有其他功能块提供反馈。第二部分在网络管理器层次实现，并被称作自配置监测和管理功能网络管理器（SC_MMF_NM）；它采用标准接口 Itf-N 连接到 SC_MMF_EM，并支持运营商控制自配置过程的执行[13]。在网络管理器层次，必须实现几个 eNB 间要求协同的所有功能。

当 eNB 打开时，它认证网络，反之亦然。在这种情形中，一个外部规划工具确定 eNB 位置和安装（包括天线）用的硬件。建立一个初步的参数组，像 eNB 类型、蜂窝特点（分区）等。

在安装之后，eNB 将运行一个自测，将事件性的故障报告到单元管理器。如果自测结果是正面的，那么 eNB 自配置过程开始于检测运营支撑系统（OSS），从 OSS 它最终下载最新的软件。在此之后，设置网络参数，以便建立到网络和各 OSS 的一条逻辑连接。在此时，eNB 和连接的节点就有了一个 IP 地址，并设置了传输接口的 QoS 参数。

在此之后，它确定初始无线电配置。它设置输出功率，覆盖的电子倾角，配置物理资源并映射逻辑信道，产生蜂窝识别符（Cell-Id），从一个外部数据库下载邻居列表，为拥塞和接纳控制建立无线电参数，切换阈值等。在这个过程结束时，为确保 eNB 正确工作，实施各种测试[14]。

在自配置之后，执行一个连续的自优化过程。在 3.4.3 节描述自优化过程，并涉及如下特征：

- 覆盖优化：倾斜和输出功率调整；
- 邻居列表更新：通过功率测量，eNB 识别新的邻居，并消除较弱的邻居。

与新邻居建立 X2 接口，与老邻居们的相同接口被放慢速度（slow down），在3.4.2节描述自动邻居关系管理；

- 切换优化：为最小化失效，使用与切换有关的测量（像呼叫丢弃）和切换失效，来调节切换阈值和滞后；
- 干扰控制：为最小化全局系统干扰，无线电资源管理（RRM）指派资源块；
- QoS 参数优化：QoS 有关的测量，像平均蜂窝吞吐量，每用户平均吞吐量，每用户平均时延和蜂窝负载，这些被用来调整 QoS 有关的参数；
- 蜂窝消减（outage）补偿：网络重新配置无线电参数，目的是避免服务丢失。例如，修改邻居蜂窝参数，像天线倾角，功率和信道配置，目的是补偿覆盖和服务的损失。要更新邻居列表。要重新配置 X2 接口；

在图 3.16 中给出 eNB 自建立过程流图的一个例子。

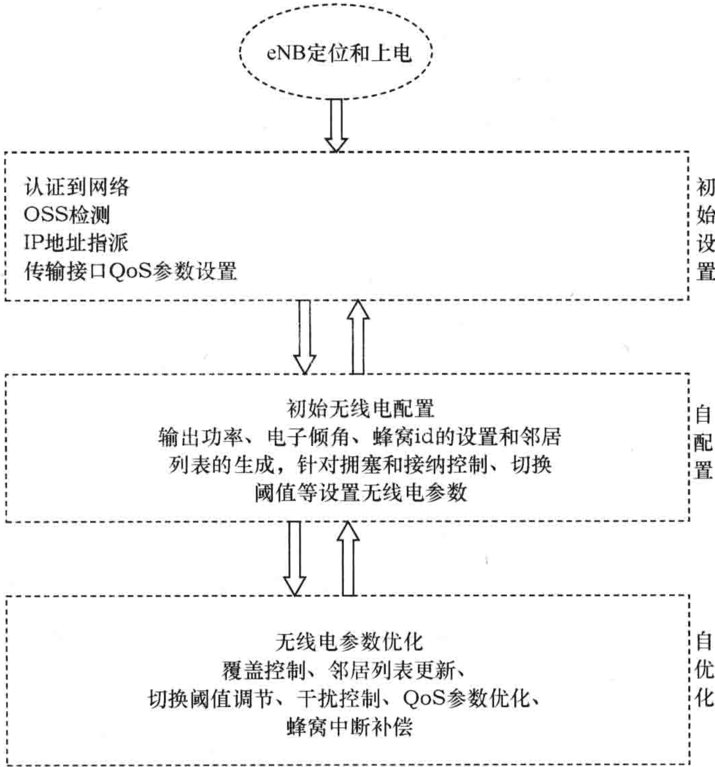


图 3.16 eNB 自建立过程流图的例子

在多厂商环境中要支持自建立和自优化。为支持不同厂商间的完全互操作性和避免像网络不稳定等副作用，要对这些规程和 OAM 接口做标准化。

3.4.2 自动邻居关系管理

电信运营商实际上需要在不同频率以毫微微、微和宏覆盖联合地管理多 RAT。

为支持 RAT 间切换（HO），在每个接入网络节点（BTS、NB、eNB）不得不配置邻居关系。一个新接入网络节点的安装意味着在邻居节点中一个新邻接关系的手工配置；一个接入网络节点的去除涉及在邻接节点中邻居关系的手工清除。自动邻居关系（ANR）功能使 LTE 接入节点、演进的 NB 中的邻接关系的管理自动化。图 3.17给出在 eNB 中实现的 ANR 功能[15]。当一个新 eNB 建立时，它配置邻居蜂窝关系（NR），并自动地优化邻居关系列表。

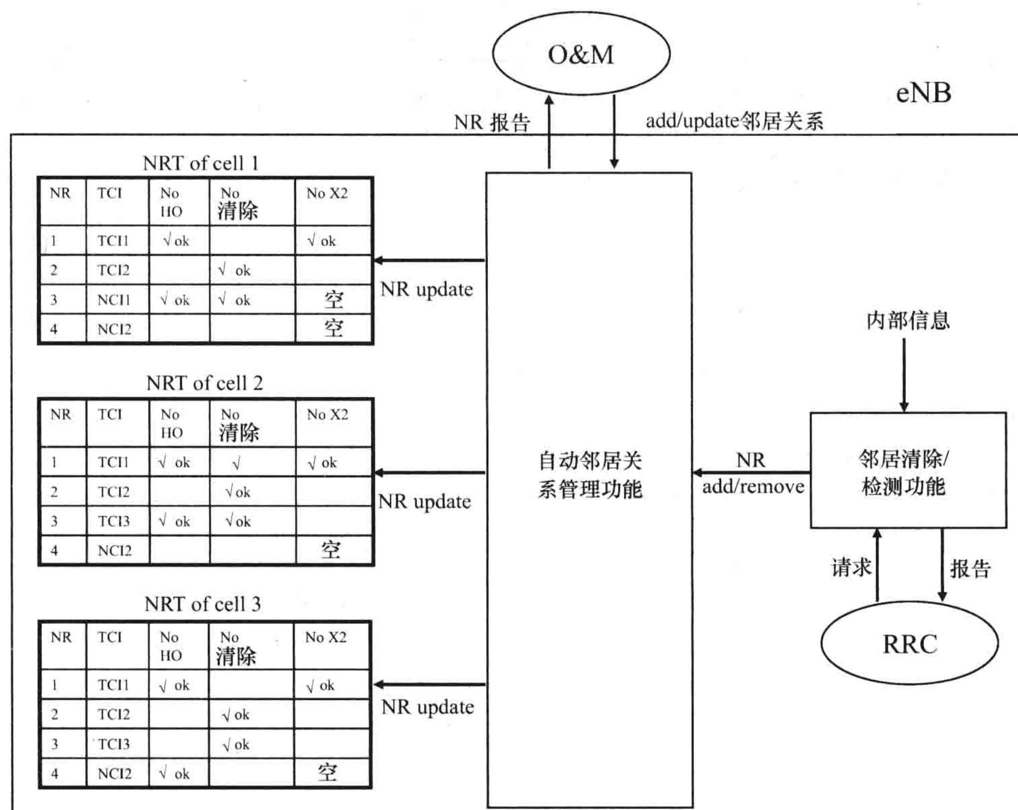


图 3.17　在 eNB 中实现的 ANR 功能

在 LTE 中，ANR 功能驻留在 eNB 中，并管理邻居关系表（NRT）。eNB 中的每个蜂窝有一个邻居关系表。如果 eNB 知道如下信息，则从一个源蜂窝到一个目标蜂窝就存在一个邻居蜂窝关系（NR）：

- 邻居蜂窝处在 LTE 中：目标蜂窝身份（TCI），它包括目标蜂窝的 E-UTRAN 蜂窝全局身份（ECGI = PLMN-Id + PCI）和物理蜂窝身份（PCI）；
- 邻居蜂窝处在 UTRAN 中：邻居蜂窝身份（NCI），这是一个全局蜂窝身份（GCI），包括公众陆地移动网络（PLMN）标识符（PLMN-Id）、蜂窝身份（CI）、无线电网络控制标识符（RNC-Id）；
- GSM/GPRS/EDGE 中的邻居蜂窝：邻居蜂窝身份（NCI），这是一个蜂窝全

局身份（CGI），包括 PLMN-Id、位置区域码（LAC）、蜂窝身份（CI）和基站身份码（BSIC）。

除了 TCI 和 NCI 外，由 OSS 系统控制的在邻居关系表中有其他字段，例如：

- 无 X2：仅对 LTE 邻居蜂窝存在这个字段，并指明在源蜂窝和目标蜂窝之间缺少 X2 接口；
- 无清除：目标蜂窝不能从 NRT 去除；
- 无 HO：邻居关系不能用于切换目的。

从连接到 OSS 系统的 ANR 管理功能更新邻居关系表。邻居检测/消除功能具有添加新邻居和去除老邻居的任务；有关要添加或取消的目标蜂窝的信息，来自于无线电资源控制（RRC）功能[16]。

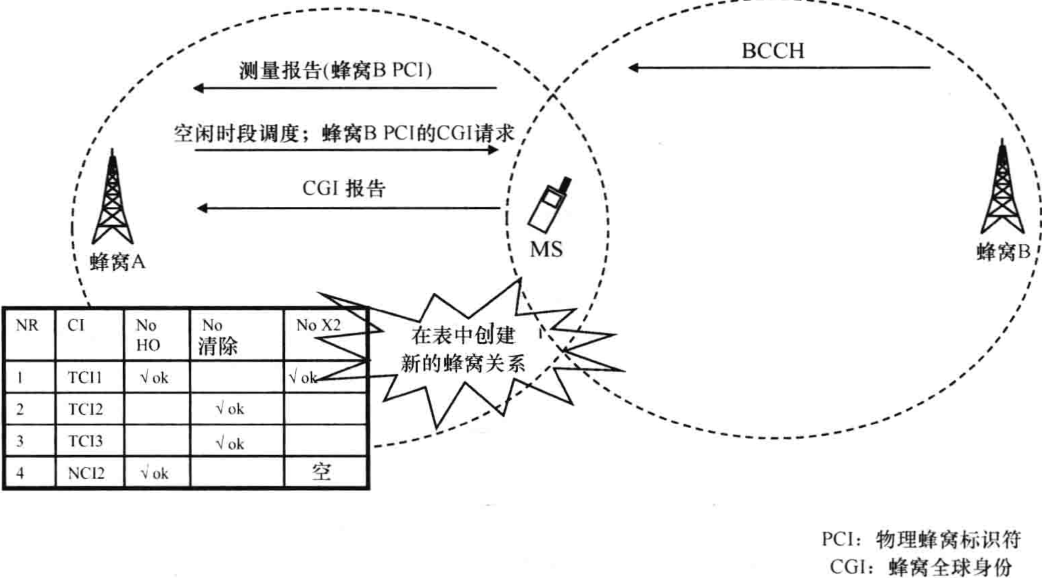
因此，自动邻居关系管理 LTE 间/频率内 ANR、LTE 内/频率间 ANR 和 RAT 间 RAT。LTE 内和 RAT 间自动邻居关系是由服务蜂窝 eNB 控制的，该 eNB 装备有 ANR 功能。

在频率内/LTE 内 ANR 中，规程是如下工作的：

1）移动站（MS）发送一个测量报告，它包含目标蜂窝的物理蜂窝身份（PCI）；

2）如果 PCI 不在 NRT 中，eNB 调度空闲周期，使 MS 能够实施新的测量，目的是发现目标蜂窝全局身份（CGI）；

3）除了跟踪区域码和 PLMN-Id 外，MS 将 ECGI 报告给服务蜂窝，它更新其 NRT。频率内和 LTE 间 ANR 规程的一个例子如图 3.18 所示。



NR	CI	No HO	No 清除	No X2
1	TCI1	√ok		√ok
2	TCI2		√ok	
3	TCI3		√ok	
4	NCI2	√ok		空

图 3.18 频率内/LTE 内 ANR 规程的例子

每个 eNB 包含一个频率间搜索列表[17]，它支持 RAT 间和频率间 ANR。对于频率间/RAT 间 ANR，规程如下工作：

1）eNB 调度空闲周期，并指令 MS 在目标 RAT/频率中实施邻居蜂窝测量；

2）MS 向源蜂窝报告被检测蜂窝的物理蜂窝身份（PCI）；

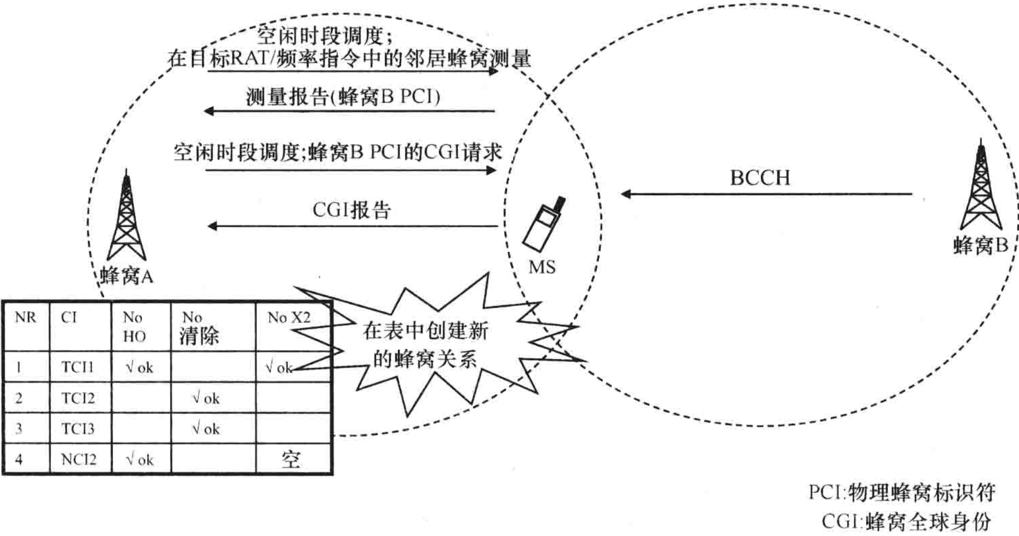
3）eNB 调度空闲周期，使 MS 能够实施新的测量，目标是发现被检测蜂窝的 CGI；

4）MS 将蜂窝全局身份（CGI）和其他参数（像 LAC（位置区域码）或 RAC（路由区域码））报告给服务蜂窝，由服务蜂窝更新它的 NRT。

在无线电移动网络中 PCI 不是一个唯一的标识符。这就是为什么有必要反馈其他参数，以便得到一个唯一的蜂窝身份。这样的参数有：

- 对于 LTE 邻居蜂窝：除了跟踪区域码和 PLMN-Id 外，有 E-UTRAN 蜂窝全局身份（ECGI）；
- 对于 UTRAN 邻居蜂窝：有蜂窝全局身份（CGI）、位置区域码（LAC）和路由区域码（RAC）、PLMN-Id；
- 对于 GSM/GPRS/EDGE 邻居蜂窝：蜂窝全局身份（CGI）、路由区域码（RAC）、PLMN-Id。

频率间/RAT 间 ANR 规程的一个例子如图 3.19 所示。



NR	CI	No HO	No 清除	No X2
1	TCI1	√ok		√ok
2	TCI2		√ok	
3	TCI3		√ok	
4	NCI2	√ok		空

图 3.19　频率间/RAT 间 ANR 规程的例子

3.4.3　eNB 自优化

为满足流量需求并优化接入网络性能，自优化过程考虑 eNB 无线电参数的自动优化。自优化过程提供一项自优化功能（接收关键性能指示器（KPI）、告警

等)，并依据运营商的目标和指标，监测输入数据。如果没有满足指标，则运行优化算法，确定要采取的正确动作。

运营商可确定何时执行所建议的动作。如果部署了正确的动作，则该算法评估得到的结果，且如果满足指标，则算法结束，而继续进行输入数据监测；否则，系统可返回到以前的状态（退却（fallback）)，此后，监测输入数据。运营商可确认退却的执行[18]。

所描述的过程示于图 3.20 的流图之中。点式线指明运营商所控制功能的步骤(开环)。

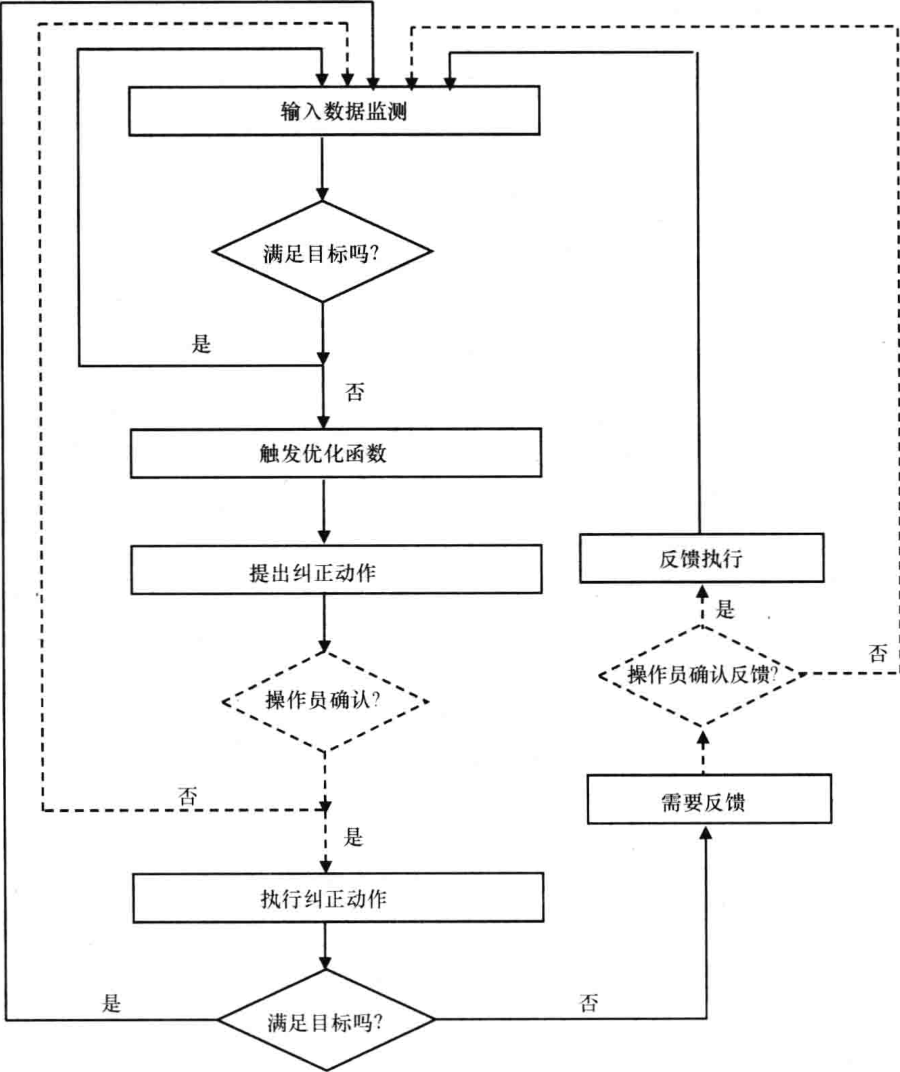


图 3.20 自优化过程流图的例子

自优化的参考模型由许多功能块组成，并如图 3.21 所示。

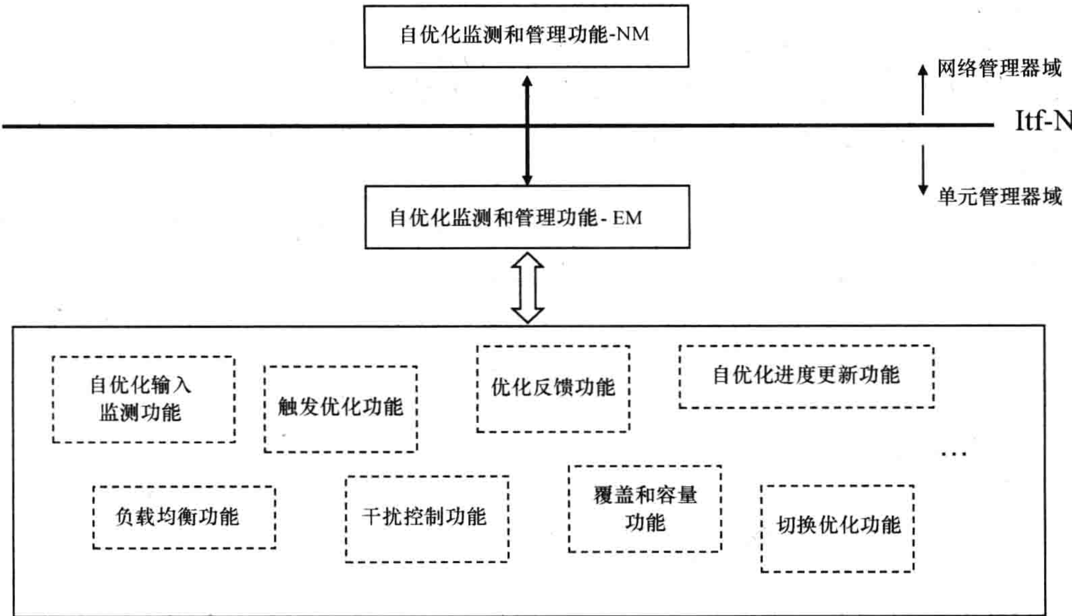


图 3.21　自优化参考模型

控制自优化过程的自优化监测和管理功能（SO-MMF），被分成两部分。

第一部分是在网络管理器层实现的，被称作自配置监测和管理功能网络管理器（SO_MMF_NM）。它是在 Itf-N 接口上面运行的，监测自配置过程，并使运营商能够控制整个过程，从而使之满足给定指标。

第二部分是在单元管理器层实现的，被称作自配置监测和管理功能单元管理器（SO_MMF_EM）。它是在 Itf-N 接口下面运行的，并识别、解决和/或报告冲突，依据的是由 SO_MMF_NM 接收到的策略指令。

策略指令的例子有：

- 在冲突的情形中，SON 功能优先级；
- 在某个时段内，禁止改变一个或多个参数；
- 某些值首选范围的选择。

每个自优化功能有几个性能指示器，用来在监测过程中、一个纠正动作前后，评估系统行为。在自优化功能中，将描述负载均衡、干扰控制、覆盖和容量优化以及切换优化等用例[18]。所有上面提到的功能都是在最小人类干预（闭环）的情况下实施的。

3.4.3.1　负载均衡

负载均衡优化功能具有分布流量的目标，目的是满足 QoS 需求并最大化接入网络容量。为激活负载均衡功能，在所涉及蜂窝间必须有部分的或全部的重叠覆盖。此外，可在频率内、频率间或 RAT 间蜂窝间激活负载均衡。

负载均衡优化功能基于与流量负载有关的如下性能指示器：

• RRC 连接建立故障率：在尝试做出一条 RRC 连接时，指明由于蜂窝负载的故障率。

• E-UTRAN 无线电接入载波（E-RAB）建立故障：在尝试建立 E-RAB 时，指明由于蜂窝负载的故障率。E-RAB，也称作演进的分组系统（EPS）载波，是当一台移动站连接到核心网时，建立的一条逻辑连接。

• RRC 连接释放率：指明连接的速率，这些连接由于流量负载，在比特率方面遇到降级，降低到低于指标的一个值。

• E-RAB 异常释放率：指明 E-RAB 的速率，这些 E-RAB 由于流量负载，在比特率方面遇到降级，降低到低于指标的一个值。

• 与切换有关的故障率：指明由于流量负载导致的切换故障率。

运营商应该为指标性能指示器指派权重[18]。

针对负载均衡（LB）考虑的场景有[19]：

• 重叠覆盖区：在两个完全重叠的蜂窝之间，考虑负载均衡。

• 层次型覆盖区：在不同尺寸的两个重叠蜂窝之间，考虑负载均衡。如果用户在重叠区内，可实施 LB。

• 邻居覆盖区：在不同尺寸的两个部分重叠蜂窝之间，考虑负载均衡。如果用户在重叠区内，可实施 LB。

图 3.22 给出重叠覆盖区、层次型覆盖区和邻居覆盖区的场景。

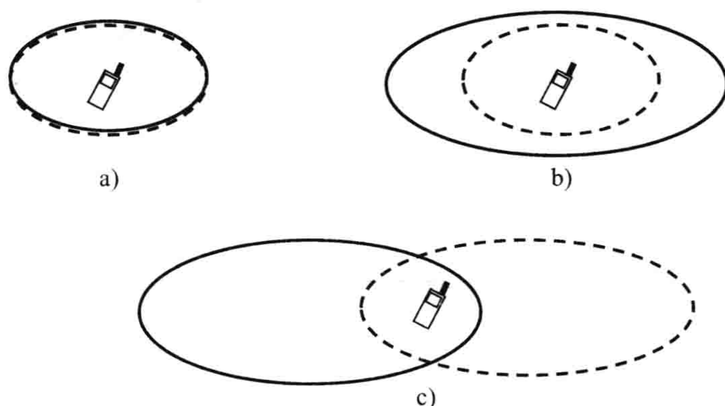


图 3.22

a）重叠覆盖区 b）层次型覆盖区 c）邻居覆盖区的场景

3.4.3.2 切换优化

切换优化功能具有最小化切换故障、最小化不必要的切换以及增加网络的负载均衡能力的目标[18]。在 3.4.3.1 节讨论由于负载均衡导致的能力增加。在本节讨论另外两点，即切换故障的最小化和不必要切换的最小化。

为激活切换优化功能，必须通过在 3.4.2 节讨论的自动邻居关系（ANR）功

能，使邻居关系表（NRT）保持最新。切换优化涉及频率内、频率间和 RAT 间切换。切换优化功能的最重要性能指示器是切换有关的无线电链路故障率。这个参数非常重要，因为它不仅影响网络性能，而且影响用户体验。

切换（HO）无线电链路故障，有三个主要原因：

- 太迟的 HO 触发：当源蜂窝的信号强度太低时，才触发 HO，那么就导致无线电链路故障，从而发生太迟的 HO 触发。网络知道这种类型的故障，原因是移动站在一个新蜂窝中重新建立一条连接。
- 太早的 HO 触发：当目标蜂窝的信号强度太低时，触发 HO，那么就导致无线电链路故障，从而发生太早的 HO 触发。网络知道这种类型的故障，原因是移动站在一个源蜂窝中重新建立一条连接。
- HO（切换）到一个错误的蜂窝。网络知道这种类型的故障，因为在一个不同于源的蜂窝中发生一次无线电链路故障，且移动站在目标蜂窝中重新建立一条连接，该蜂窝不同于源和无线电链路故障发生的蜂窝。

图 3.23 给出三种情形：太迟的 HO 触发、太早的 HO 触发和 HO 到一个错误的蜂窝。

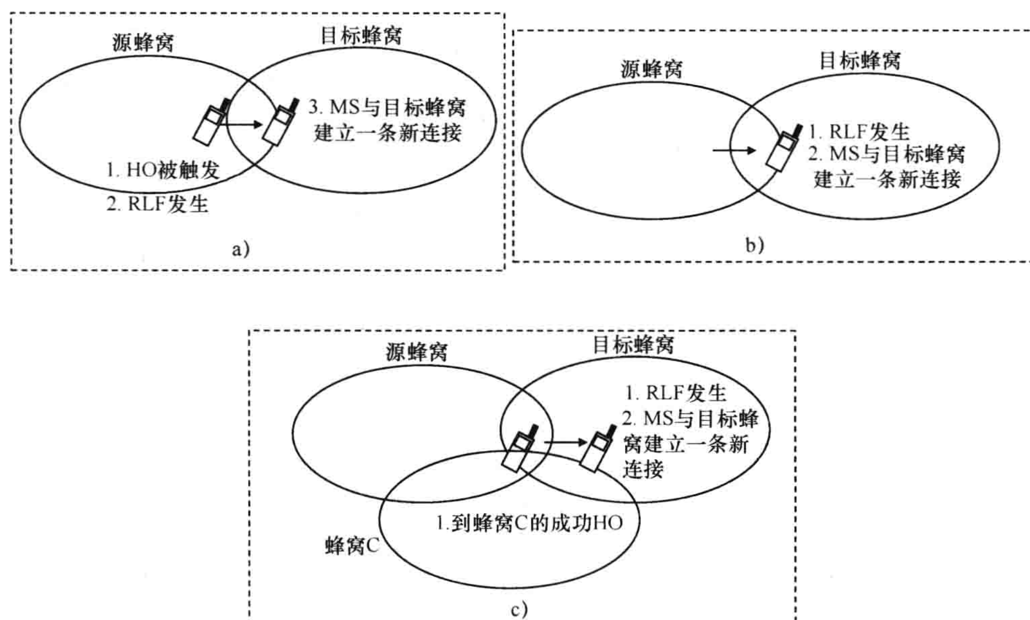


图 3.23　切换故障的例子

a）太迟的 HO 触发　b）太早的 HO 触发　c）HO 到一个错误的蜂窝

LTE 基于参考信号接收功率（RSRP）测量，规范硬性 HO 机制。信号强度测量是在某个时间量上平均得到的信号水平。

在一次无线电链路故障（RLF）中涉及的、必须被优化的参数有：

- 切换滞后容限（HOM）：为避免乒乓效应，在切换评估准则中使用滞后而

不是一个阈值。

- 触发时间（TTT）：为触发一次测量报告，识别确定事件需要满足的特定准则期间的时间。
- 蜂窝个体偏移（CIO）：是针对切换决策的一个附加偏移。它被用来增加或减少切换区域。
- 蜂窝重新选择参数：为蜂窝重新选择规程，要考虑的各项参数。其中一些参数有：蜂窝选择 RX 水平值、蜂窝选择质量值等。

图 3.24 给出在成功切换和无线电链路故障情形中 HO 评估算法的一个例子。在图中示出滞后、TTT 和 RLF 阈值参数。表明了一个较大的 TTT 如何确定一次无线电链路故障。

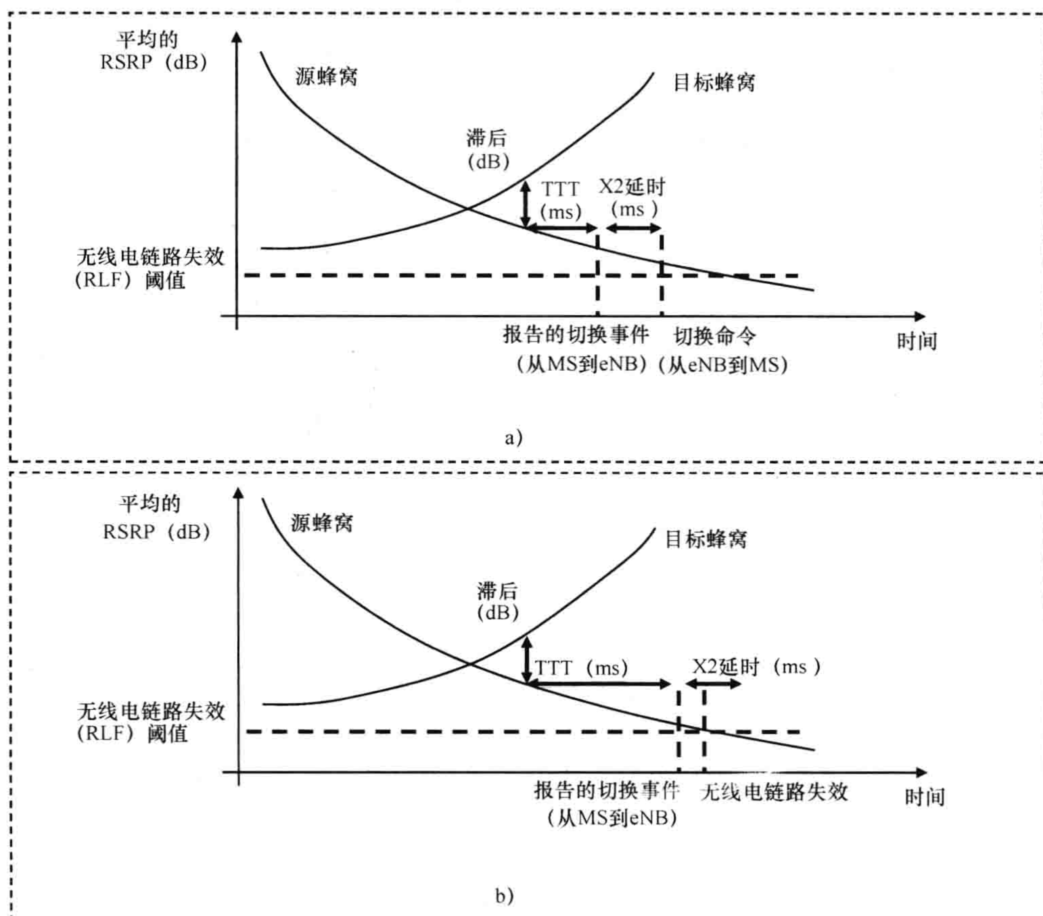


图 3.24 HO 评估算法的例子

a）成功切换 b）无线电链路故障

3.4.3.3 干扰控制

协同发送和接收是 LTE 高级版本中提供的一项功能，目标是干扰降低、较高

的数据速率和较高的蜂窝边缘吞吐量。这意味着不同发送点间的协同。干扰控制可分成[19]：

- 下行链路干扰协同；
- 上行链路干扰协同。

在图 3.25 中给出三种可能的干扰协同场景。在图 3.25a 中，给出上行链路蜂窝间干扰协同（ICIC）的一种情形：相同上行链路资源块的调度是在蜂窝 A 和蜂窝 B 之间协同的，并被指派到经历低干扰的移动站。为最小化蜂窝间干扰，调节发送功率。

图 3.25b 给出下行链路 ICIC：在这种情形中，移动用户处在蜂窝-边缘区域。为最大化吞吐量和最小化干扰，蜂窝 A 和蜂窝 B 协同将资源块指派到蜂窝-边缘用户。在例子中，在时刻 t_0，由蜂窝 A 指派最大化移动站（MS）吞吐量的一个资源块；在时刻 t_1，由蜂窝 B 指派最大化 MS 吞吐量的一个资源块。

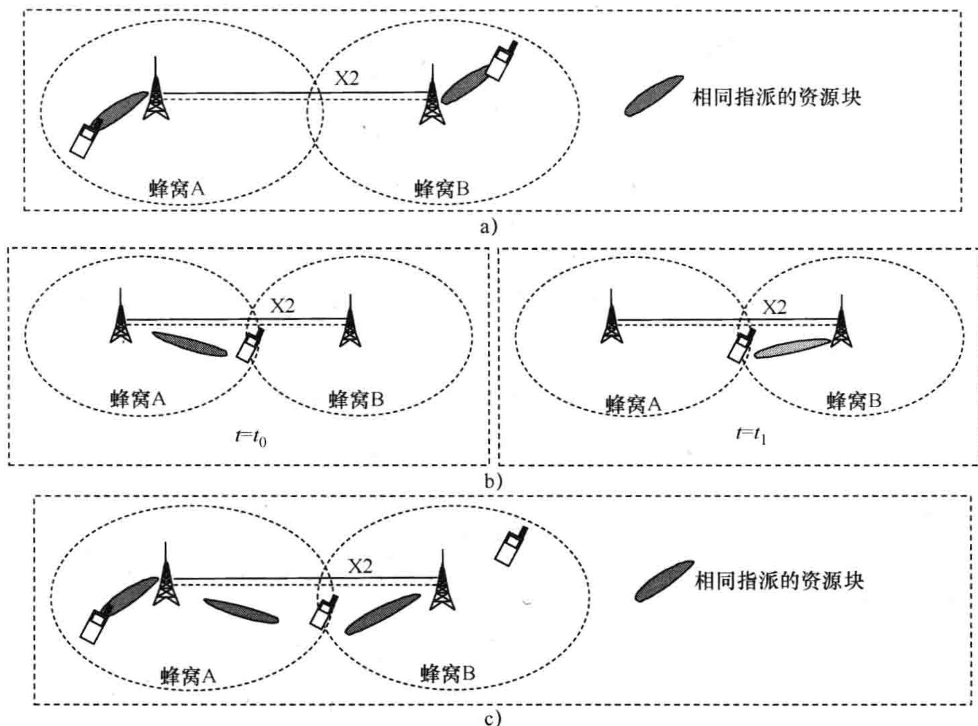


图 3.25　蜂窝间干扰协同场景的例子

a）上行链路 ICIC　b）下行链路 ICIC　c）联合处理

在图 3.25c 中，给出联合处理的情形：在从蜂窝 A 和蜂窝 B 到同一移动站的下行链路中，发送相同的信息，并联合地进行处理，以便改进接收信号质量。

协同多点发送和接收（CMTR）包括如下技术：

- 协同无线电资源管理（RRM）和调度。

• 干扰拒绝组合（IRC）：是用于一个天线多样性系统中的一项技术，用来抑制同信道（co-channel）干扰。

• 后继干扰消除（SIC）：是一项多用户检测技术，其中在对一个特定用户的信号做出决策之后，那个用户的干扰信号就被消除了。

在 LTE 中，定义了在邻接 eNB 间交换的两个指示器，它们有助于上行链路蜂窝间干扰协同：

• 过载指示器（OI）：为一个蜂窝中每个资源块（RB）刻画上行链路干扰，并从一个 eNB 发送到各邻居。它指明高、中和低干扰的水平。

• 高干扰指示器（HII）：指明一个 eNB 的意图，将某些资源块指派到一些蜂窝-边缘用户。

图 3.26 给出上行链路蜂窝间干扰协同的一个例子。

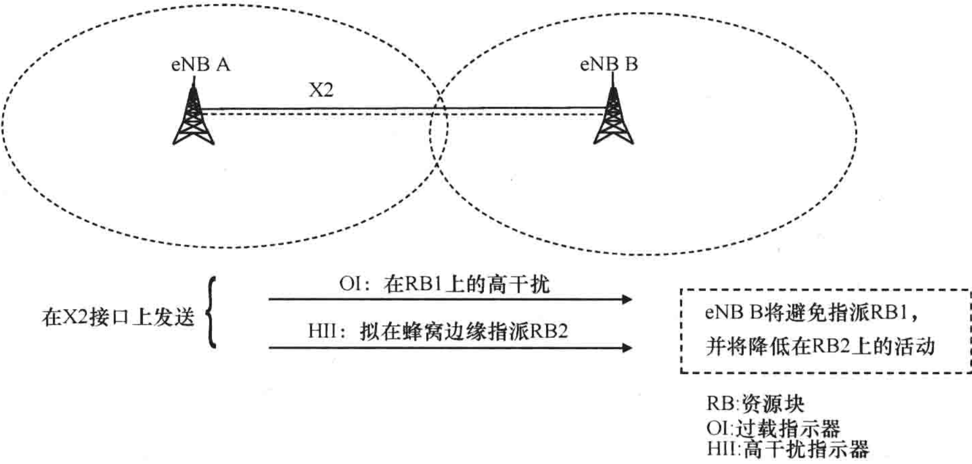


图 3.26　上行链路蜂窝间干扰协同的例子

在图中，eNB A 通过 X2 接口发送到 eNB2，其中资源块 1（RB1）经历高的干扰（OI 指示器）且 eNB2 意图将 RB2 指派给蜂窝-边缘用户（HII）。eNB2 将避免指派 RB1，并将降低在 RB2 上的活动。

在下行链路，干扰源自各 eNB，蜂窝间干扰意味着在发送带宽的一些部分限制发送功率。为避免下行链路蜂窝间干扰协同，定义通过 X2 接口交换的如下参数：

• 相对窄带发送功率指示器（RNTPI）：指明一个资源块集合的发送功率小于一个阈值。接收这个参数的一个 eNB，将在相同资源块集合上调度它的下行链路发送，由此支持全频率重用。

图 3.27 给出下行链路蜂窝间干扰协同的一个例子。

3.4.3.4　覆盖和容量优化

覆盖和容量优化功能具有双重目标：去除覆盖漏洞（hole）和优化网络容量。

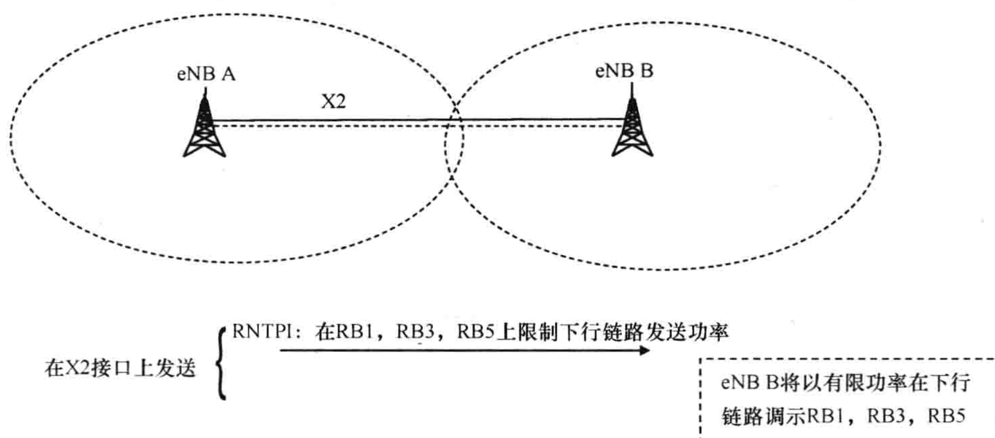


图 3.27　下行链路蜂窝间干扰协同的例子

MS 报告测量结果，这支持覆盖问题的检测以及覆盖和容量优化中涉及的各参数进行调整，以便解决覆盖问题并优化容量。

优化中涉及的参数，被用来修改蜂窝维度（大小）和覆盖，这些参数有[18]：

- 下行链路发送功率；
- 天线倾角和方位角。

典型的覆盖问题有[18]：

- 覆盖空洞：接收到的引导信道信号强度不足以建立和/或维护一条连接。网络知道这种类型的故障，原因是移动站经历一次无线电链路故障或一次呼叫丢弃。在同一蜂窝中重新建立连接，HO 参数优化没有解决问题。
- 弱覆盖：接收到的引导信道信号强度低于一个确定的阈值（与性能有关，例如蜂窝-边缘比特率阈值）。
- 引导污染：当重叠导致太大干扰时发生这种情况。
- 过度覆盖：当一个蜂窝的覆盖远大于它应该覆盖的范围时，发生这种情况。在这种情形中，移动站可能经历高干扰和/或呼叫丢弃。
- 上行链路/下行链路覆盖失配：在这种情形中，下行链路链路预算和上行链路链路预算是不匹配的。这导致连接建立或维护方面的问题。网络知道这种类型的故障，原因是移动站经历无线电链路故障或呼叫丢弃。

在不同自优化算法中涉及一些参数。事实上，自优化算法是相互依赖的，且一个控制参数可由不同算法修改。这就是为什么独立的指标优化是不可能的，各算法必须能够联合地优化多个指标（即干扰、负载均衡、HO、覆盖）。

图 3.28 给出自优化逻辑函数的位置及其与多个指标优化的关系。运营商通过网络管理器（NM）设置策略控制功能（PCF），并通过监测功能（MF）来监测优化过程。也在单元管理器域实施策略控制功能和监测功能，是在网络管理器的控制

下实施的。在 eNB 中实现优化算法，通过 X2 接口连接的。

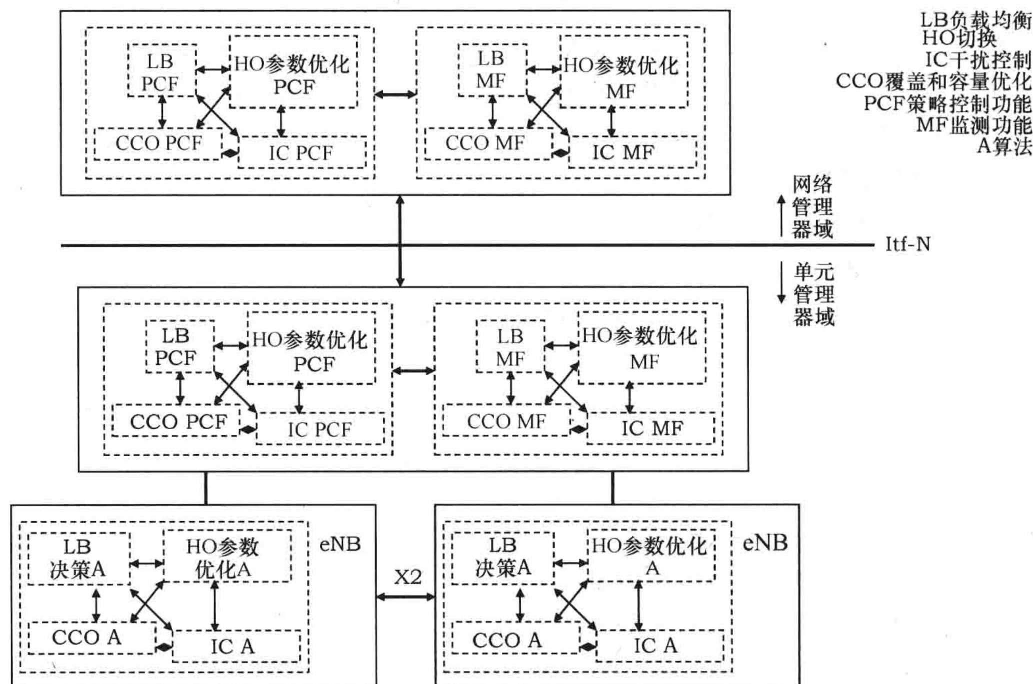


图 3.28　自优化逻辑功能位置的例子

3.4.4　能量节省管理

如今，CO_2 散发降低是一项全球的关注点。到 2020 年，欧盟的目标是降低 20%。电信网络为服务交付消耗巨量能量，且能量消耗是电信设备制造商的一个热点话题。无线电移动网络节点要求大量能量才能向最终用户提供服务。基站、NB 和 eNB 是消耗最多能量的网络节点。

能量节省（ES）具有通过由运营商设施的策略来最小化能量消耗的目标[21]。替代的能量解决方案，像可再生能量源，也可带来显著的节省。可在网络管理器层（在 Itf-N 接口上面）和单元管理器层（在 Itf-N 接口下面）实施能量节省管理功能。在这两种情形中，认为能量管理是中心式的。如果 ES 是在网元层实现的，则称 ES 是分布式的。

能量节省不仅涉及 LTE，而且涉及其他无线电接入技术（RAT），并可应用到单蜂窝或网元[4]。就 ES 而言，一个蜂窝或网元可有三种状态[21]：

- notEnergySaving（NoES）状态：蜂窝或网元是以全速（full）运行的，且没有激活 ES。
- EnergySaving 状态：蜂窝或网元没有全速工作，且激活 ES。在这种情形中，关闭了一些功能。

• compensatingForEnergySaving（能量节省补偿）状态：网元补偿其他蜂窝或网元的 ES 状态中的变化，例如，当邻居蜂窝关闭时确保相同的覆盖。

图 3.29 给出从 notEnergySaving 状态转换到 EnergySaving 状态实施，这里通过 ES 激活做到的，方法是关闭一个蜂窝或网元。通过 ES 去活，全速使用蜂窝或网元，实施从 EnergySaving 状态到 notEnergySaving 状态的转换。ES 补偿是这样一个规程，它改变蜂窝/网元配置，目标是为保障覆盖和容量而补偿邻居蜂窝/网元 ES 状态的变化。如果在一个蜂窝或网元中 ES 被禁止，则能量节省就被禁用。

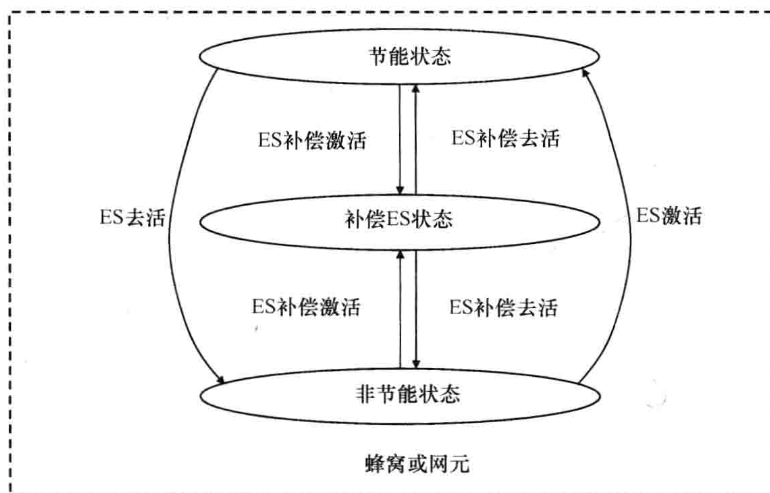


图 3.29　能量节省状态和转换

如果能量节省（ES）是以中心方式处在网络管理器层的，则运营商监测能量节省过程，并设置策略和条件。仅当满足这样的策略和条件时，各蜂窝才被指令切换到 ES 状态。如果 ES 是在单元管理器或网元层完成的，则网元（即 eNB）依据其自己的策略和条件，自治地切换到 ES 状态。将一些蜂窝切换到 ES 状态，导致非常常见的必要性是，将邻居蜂窝切换到 compensatingForEnergySaving 状态，目的是调整覆盖并满足新的目标容量。

在图 3.30 中，给出 ES 激活和 ES 补偿激活的一个例子。当网络处在全流量负载下时，每个 eNB 处在 NoES 状态。当流量减少时，eNB B、C、D 和 E 切换到 ES 状态并被关闭。同时，eNB A 切换到 ES 补偿状态，重新配置无线电参数，目的是满足新的流量和覆盖要求。在处于 ES 和 ES 补偿状态的各 eNB 间覆盖调整过程，应该得到干扰控制和覆盖以及容量优化功能的支持。为优化多目标，像能量节省、干扰控制以及覆盖和容量优化等自优化功能应该是中心式的，处在运营商控制下，处于网络管理层。

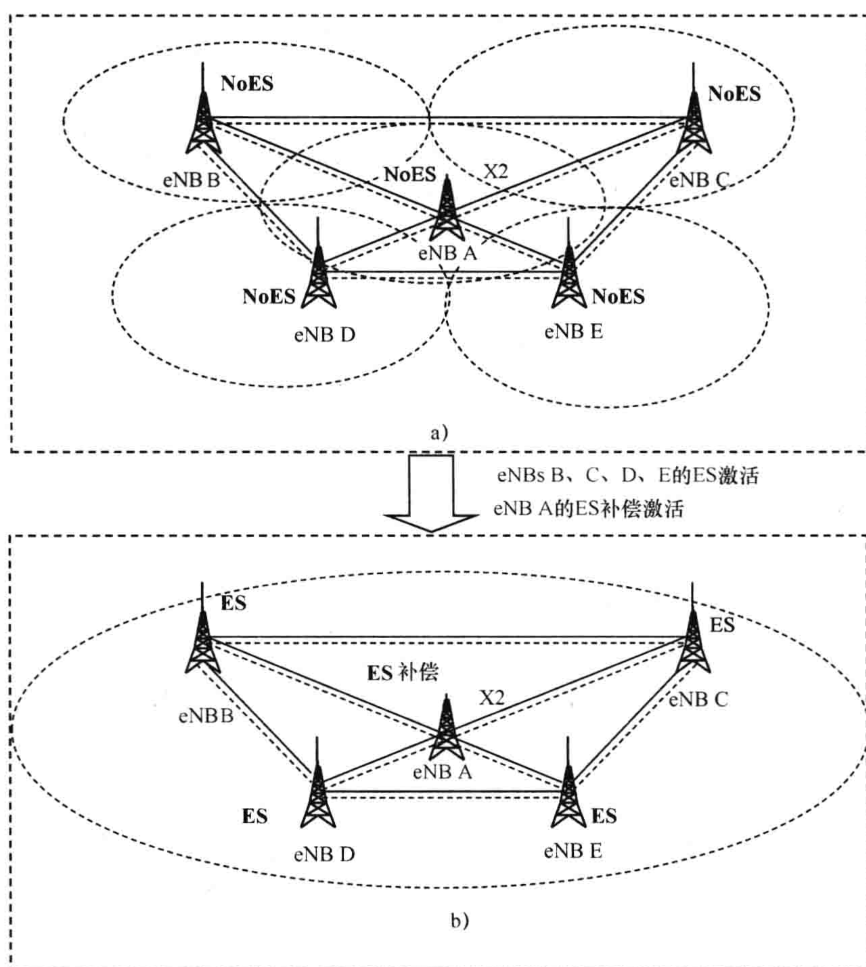


图 3.30 ES 和 ES 补偿激活的例子

3.4.5 自愈

自愈关注的是，通过触发恢复动作，自动化地解决故障的可能性[22]。自愈的触发器（事件）是监测到的告警。

被监测的告警和自愈动作应该可由操作员配置。自愈功能可在网络管理器层（Itf-N 接口上面）和在单元管理器层（在 Itf-N 接口下面）进行实现。网络管理器层的自愈功能使操作员可控制自愈过程的执行，并设置被监测的告警和自愈动作。自愈过程流图，分成监测部分和愈合过程部分[23]，如图 3.31 所示。

在自愈过程的监测部分，监测告警，且如果发现可自愈的告警，则触发一个合适的自愈过程。在自愈过程开始时，为识别必要的恢复动作，检索和分析故障相关的信息。之后，评估自愈结果，如果故障得到解决或如果达到自愈过程的终止条件，则过程结束。否则，重复执行自愈过程。

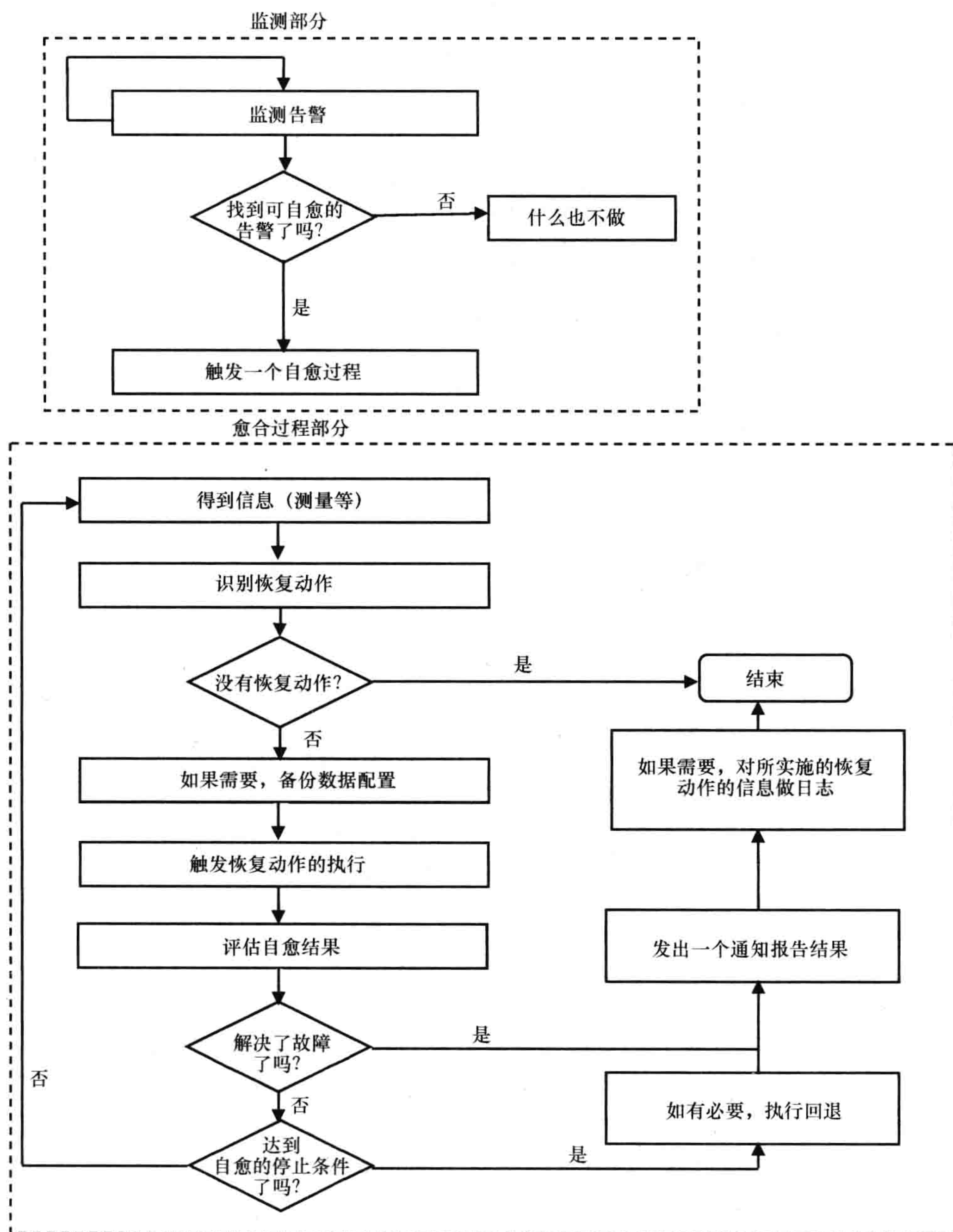


图 3.31 自愈过程流图

故障可以是软件也可是硬件。在硬件故障的情形中，恢复动作可以是：

- 如果硬件是冗余的，那么动作就是一次转换（changeover）。
- 如果硬件没有备份，那么取决于故障资源，动作可能是不同的。例如，为了不影响其他资源，故障资源可以是独立的，或者可以是重置，或者是可实施的其

他重新配置动作。

在软件故障的情形中，恢复动作可以是[22]：

- 系统/过程重启；
- 备份软件的重新载入；
- 新软件的下载；
- 数据恢复；
- 数据重新配置；
- 回退软件载入的激活（安装了以前的软件版本）。

自愈的参考模型由许多功能块组成，如图 3. 32 所示。

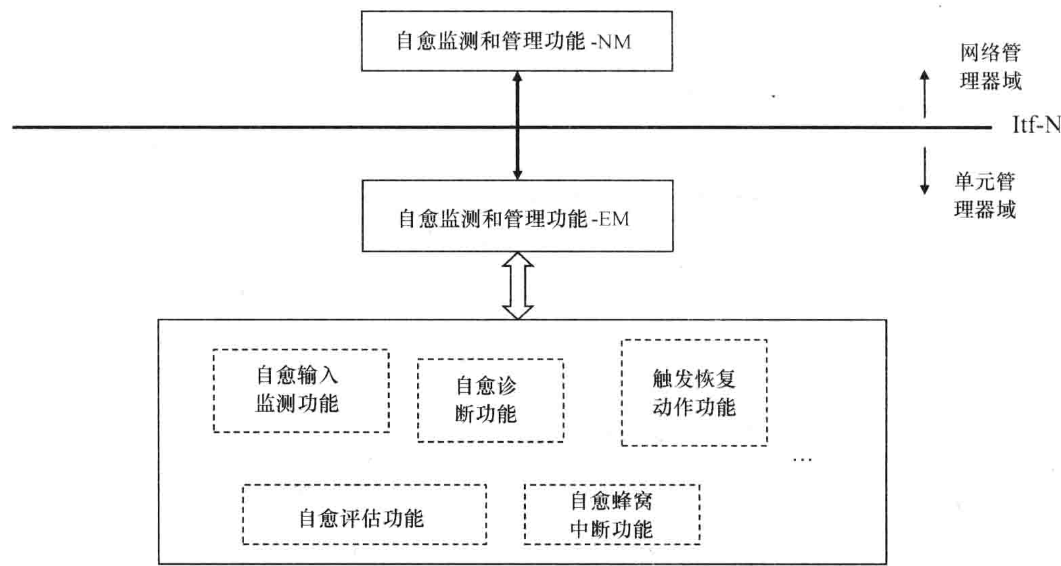


图 3. 32 自愈参考模型

自愈监测和管理功能（SH_MMF），它控制自愈过程，被分成两部分。第一部分是在单元管理器层实现的，被称作自愈监测和管理功能单元管理器（SH_MMF_EM）。它能够得到信息，并为所有其他功能块提供反馈。第二部分是在网络管理器层实现的，被称作自愈监测和管理功能网络管理器（SH_MMF_NM）。以标准接口 Itf-N 连接到 SH_MMF_EM，使操作员可控制自愈过程的执行[23]。在网络管理器处，必须实现几个 eNB 间的协同。

涉及其他 SON 特征和 eNB 协同的自愈例子是蜂窝中断。在这种情形中，一个蜂窝不能服务了，则监测到蜂窝中断，并触发自愈蜂窝中断功能（SH_CO_F）。恢复动作涉及各邻居 eNB 和其他 SON 功能，像负载均衡以及覆盖和容量优化。为避免丢失服务，要重新配置各邻居蜂窝的无线电参数。例如，为补偿覆盖和服务的丢失，要修改邻居蜂窝参数，像天线倾角、功率和信道配置。要更新邻居列表，并重新配置 X2 接口。图 3. 33 给出蜂窝中断及其补偿的一个例子。

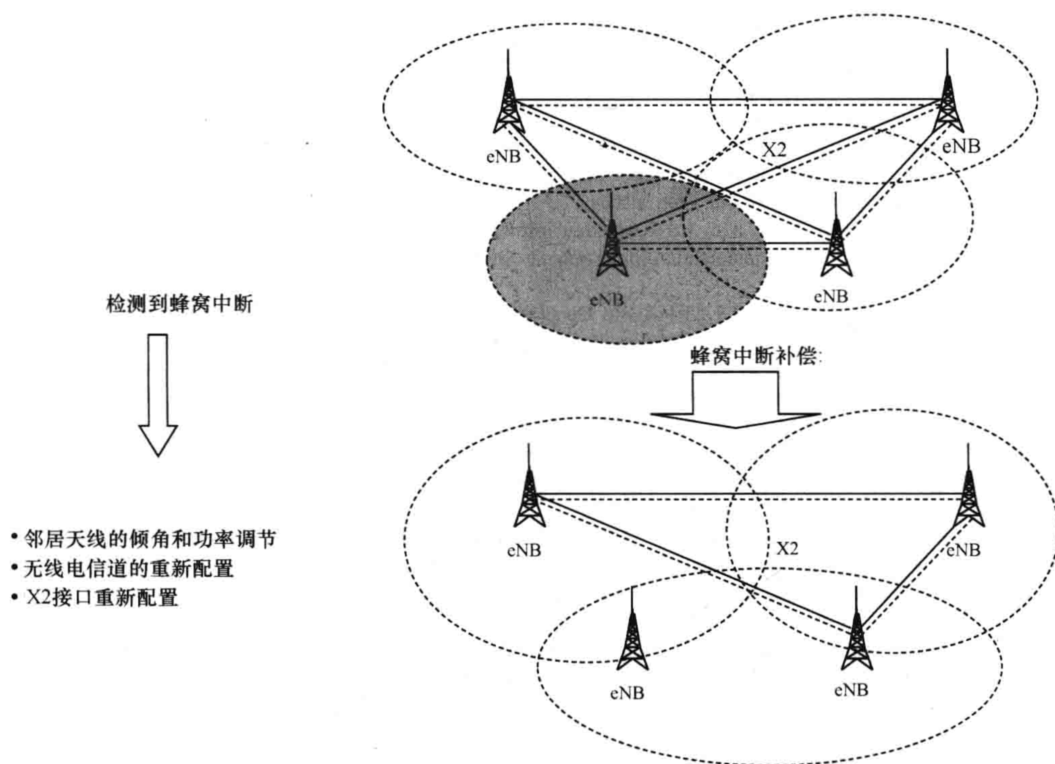


图 3.33　蜂窝中断（outage）及其补偿

参考文献

1. Overview of 3GPP release 8 V0.2.3 (2011-06).
2. Next Generation Mobile Networks Recommendation on SON and O&M Requirements, A Requirement Specification by the NGMN Alliance, December 2008.
3. Next Generation Mobile Networks Informative List of SON Use Cases, An Annex Deliverable by the NGMN Alliance, April 2007.
4. NGMN Top OPE Recommendations, A Deliverable by the NGMN Alliance, September 2010.
5. Lofrumento, G. (2011) Le applicazioni nel cloud: opportunità e prospettive. *Notiziario Tecnico Telecom Italia*, **20** (1).
6. Mell, P. and Grance, T. (2011) The NIST Definition of Cloud Computing, NIST Special Publication 800-145, September 2011.
7. 3GPP Technical Specification, TS 32.593, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication Management; Home eNode B (HeNB) Operations, Administration, Maintenance and Provisioning (OAM&P); Procedure Flows for Type 1 Interface HeNB to HeNB Management System (HeMS), version V11.0.0, September 2011.
8. TR-069 Amendment 2, CPE WAN Management Protocol v1.1, Broadband Forum.
9. 3GPP Work Items on Self-Organizing Networks.
10. 3GPP Technical Specification, TS 32.500, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication Management; Self-Organizing Networks (SON); Concepts and Requirements, version V0.3.1, July 2008.
11. 3GPP Technical Specification, TS 32.500, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group

Services and System Aspects; Telecommunication Management; Self-Organizing Networks (SON); Concepts and Requirements, version V11.1.0, December 2011.
12. 3GPP Technical Specification, TS 32.501, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication Management; Self Establishment of eNodeBs (SEe); Concepts and Requirements, version V0.2.0, July 2008.
13. 3GPP Technical Specification, TS 32.501, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication Management; Self-Configuration of Network Elements; Concepts and Requirements, version V10.0.0, March 2011.
14. 3GPP Technical Report, TR 32.816, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication Management; Study on Management of LTE and SAE, version 8.0.0, December 2008.
15. 3GPP Technical Specification, TS 25.484, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Automatic Neighbour Relation (ANR) for UTRAN; Stage 2, version 10.1.1, June 2012.
16. 3GPP Technical Report, TR 36.300, 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), Overall Description; Stage 2, version V11.2.0, June 2012.
17. 3GPP Technical Specification, TS 36.304, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) Procedures in Idle Mode, version 11.1.0, September 2012.
18. 3GPP Technical Specification, TS 32.522, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication Management; Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Information Service (IS), version 11.3.0, September 2012.
19. 3GPP Technical Specification, TS 32.521, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication Management; Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Requirements, version 11.0.0, September 2012.
20. 3GPP Technical Specification, TS 36.331, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, version 11.1.1, September 2012.
21. 3GPP Technical Specification, TS 32.551, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication Management; Energy Saving Management (ESM); Concepts and Requirements, version 11.2.0, September 2012.
22. 3GPP Technical Report, TR 32.823, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication Management; Self-Organizing Networks (SON); Study on Self-Healing, version 9.0.0, September 2009.
23. 3GPP Technical Specification, TS 32.541, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication Management; Self-Organizing Networks (SON); Self-Healing Concepts and Requirements, version 11.0.0, September 2012.

第4章　IEEE 802.22：基于认知无线电的第一个标准

4.1　白空间

转换到数字电视的做法，在VHF和UHF频带中留出一些可用频谱。这样一个可用频谱也称为数字红利，它的一部分已经分配给了有许可证的移动服务。在欧洲、中东和非洲（EMEA）和亚太（APAC）区域，790～862MHz频带被识别确定为国际移动电信（IMT）服务；在美洲，除了巴西外，698～806MHz频带被识别确定为IMT服务。孟加拉国、中国、印度、韩国、日本、新西兰和新加坡识别确定698～790MHz频带或该频带的部分频带用于IMT，以便于美洲一致。在所提到频带中留下的频谱洞被称作“白空间”，并可被用于新的无许可证无线服务的部署。

数字红利频带是非常令人感兴趣的，这是因为其无线电传播特征，像宽的覆盖和高的建筑穿透能力。这种频带是多有价值的思路来自于最近的LTE频谱分配。运营商为800MHz频带支付的要比GHz以上的频率多得多。

因此对于无线电频谱的这个价值不菲的最优利用，白空间的高效使用是非常重要的。因为这点，出现了许多倡议，建议白空间可用于各种应用，像在农村地区开通配置无线宽带服务。其他可能应用是机机通信、高速、短距离数据链路等。

电视频带设备（TVBD）或白空间设备（WSD），运行在数字红利频带。它们在没有许可证的条件下发送，这是因为在数字红利频带的空闲频谱洞上二级用户，没有对频带的主要的、有许可证的用户（即TV广播方（broadcaster）、移动运营商）造成干扰。为做到这点，它们必须知道那个位置的无线电语境（即正在运行的无线电接入网络、无线电接入网络能力、地理位置信息、频谱占用等）。

要找出无线电语境有三种方法，可联合使用：认知引导信道（CPC）、频谱感知和地理位置数据库。

认知引导信道是一个信令信道，它在设备的位置中广播语境信息（即可用频带、频带使用情况、正在运行的无线电接入网络、可用服务等）。认知引导信道可以有：

- 带内：信令广播信道是在数据的相同频带上发送的。对于白空间，频带是数字红利。
- 带外：信令广播信道是在TV频带外的一个频带上发送的。

频谱感知基于来自频带一部分的一台电视频带设备（TVBD）的测量，目的是确定该设备是否能够在那个频带上发送[4]。如图4.1所示的场景提供运行在有许可

证频带上的主用户和可能在一个无许可证方式发送的二级用户这两类用户的存在。频谱感知可在三个维度用来检测一个主用户发送的存在：时间、频率和空间[2]。

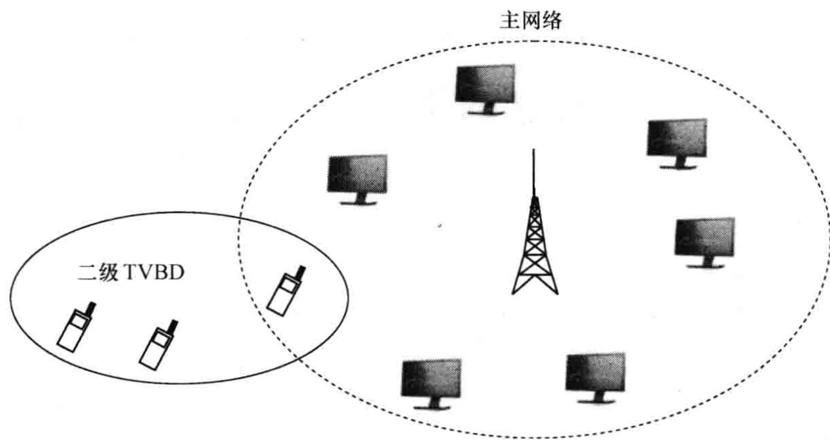


图 4.1　带有有许可证和无许可证用户的场景

地理检测数据库是频谱感知的一种互补的或替代的技术。它是包含有关频谱使用情况信息的一个数据库，可由电视频带设备（TVBD）查询，以便确定它们是否被允许在频谱的某个部分之上进行发送[3]。图 4.2 给出配置和使用一个地理检测数据库的规程的一个例子。

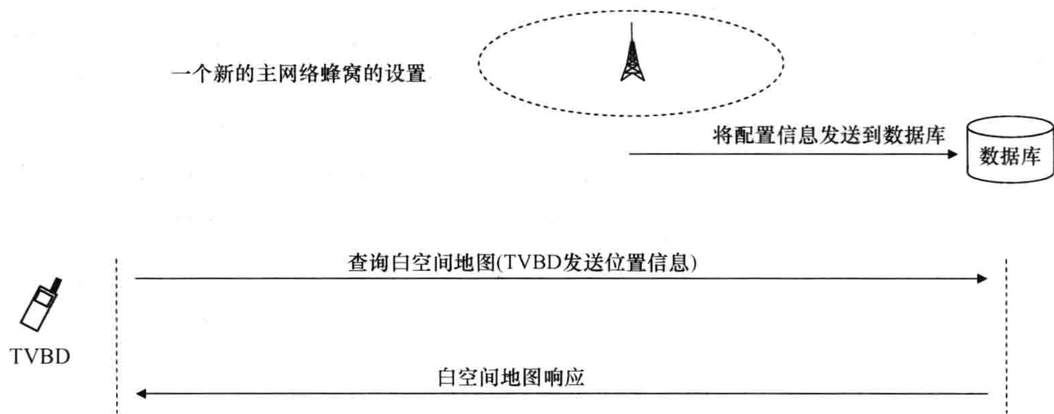


图 4.2　配置和使用一个地理检测数据库的规程的例子

当主网络的一个无线电蜂窝打开时，就位置和所用频率方面有关新无线电蜂窝的信息就被发送到地理位置数据库。在发送之前，一台电视频带设备（TVBD）查询该数据库，得到在那个时间其所在位置的白空间地图。

4.1.1　FCC 规章制度

2008 年 11 月 14 日，FCC 批准认知无线电运行在白空间，采用频谱感知和地

理检测数据库，保护 TV 信号免受认知设备发送导致的干扰[4]。FCC 为白空间确定的频率范围是 54 ~ 216MHz（VHF）和 470 ~ 698MHz（UHF），如表 4.1 所示。频道 2 ~ 20 是仅为固定 TVBD 预留的；频道 37（608 ~ 614MHz）是为无线电天文学预留的，而频道 14 ~ 20 是为公众安全共享使用的[5]。

表 4.1　FCC 的 TV 频道和白空间分配

频道号	频　带	
2、3、4	54 ~ 72MHz	VHF
5、6	76 ~ 88MHz	
7、8、9、10、11、12、13	174 ~ 216MHz	
14、15、16、17、18、19、20	470 ~ 512MHz	UHF
21、22、23、…、51	512 ~ 698MHz	

在 2008 条款集合[4]下，运行在数字红利中的认知设备，必须每隔 60s 要检查 TV 广播活动，并不得不每隔 30s 为无线麦克风和其他低功率信号实施一次感知测试。如果该设备感知到频道上的一次活动，则它停止发送。设备制造商和其他公共利益团体强烈反对频谱监测要求，原因是它保护运行在联邦通信委员会（FCC）部分 15 的规则下许多无线系统。FCC 部分 15 的规则涵盖这样的规章制度，即在其下一个有意的、无意的或偶然的发射天线，可在一个个体许可证下操作运行。这样一个发射天线，如 FCC 所述，“必须接受所接收到的任何干扰，包括来自其他无许可证设备的干扰”。

在 2010 年 9 月 23 日，发布了一项第二备忘录意见和命令（order），其中 FCC 去除了对频谱感知的要求，在一种自愿和非强制基础上，电视频带设备（TVBD）可包括频谱感知[6]。认知引导信道没有考虑白空间。因此在 TV 白空间中的操作运行仅在使用一个地理位置数据库时是允许的。在 TV 频带中允许两类无许可证设备：固定 TVBD 和便携 TVBD。在运行之前，这样的设备必须联系一个地理位置数据库，得到可用频道的列表。固定设备有一个固定位置，并被提供地理位置能力。允许两种类型的便携设备：

- **模式Ⅱ设备**：它们具有地理位置能力，并能够访问数据库。
- **模式Ⅰ设备**：它们没有地理位置能力，不能访问数据库；它们从一台模式Ⅱ设备或从一台固定设备接收可用频道的一个列表。

那么 TVBD 将仅从主网络的一个中心式数据库学习到一个给定位置在某个时间时白空间的可用性。TVBD 和数据库之间的通信必须是安全的，且 TV 频带数据库中要求的所有信息必须是可公开得到的[6]。在同样的第二备忘录意见和命令中，FCC 也包括了现用的经授权设备的保护准则，TVBD、TV 频带数据库需求的技术规则以及哪些频道可由 TVBD 使用。

在文献［6］中 FCC 为固定、个人和便携设备定义了最大工作功率。一台固定

设备可以1W的最大发送器功率输出进行工作，并可使用高达6dBi增益的天线。个人或便携设备被允许使用高达100毫瓦的e. i. r. p（有效的各向同性辐射功率），例外是邻接于TV站发送的信道，其中这些信道受限于40mW e. i. r. p[6]。仅使用频谱感知的TVBD也允许有50 mW e. i. r. p的最大发送功率。在文献［6］中，固定设备在平均地面之上的最大高度（HAAT）限制为76m。

2012年4月5日，发布了第三次备忘录意见和命令[7]，其中各站点（其中固定设备可正常工作）在平均地面之上的最大高度得以增加，每类TV频带设备的最大功率谱密度（PSD）稍稍得以增加。在文献［7］中，取消了固定设备的76m站点HAAT限制，并允许高达250m的HAAT。

图4.3给出固定和便携TVBD的一个例子，其中还有它们的功率限制。

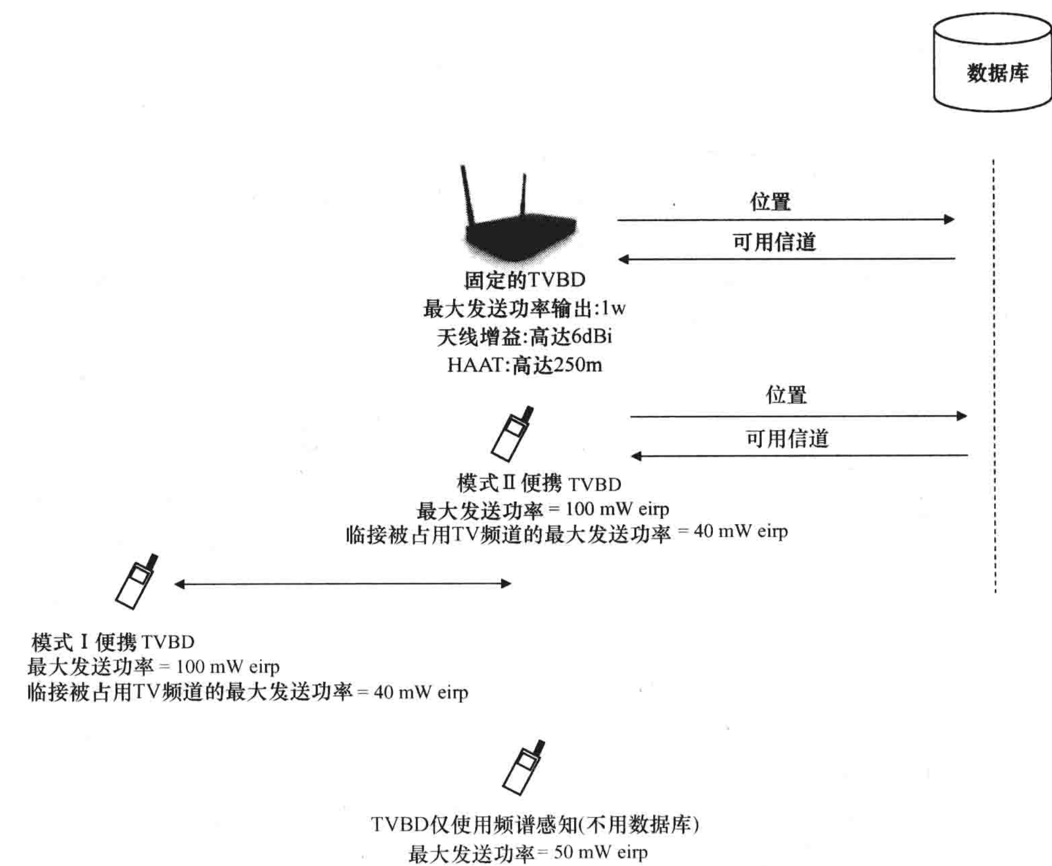


图4.3 固定和便携TVBD的例子，其中带有其功率限制（在FCC规则下）

4.1.2 ECC规章制度

在欧洲，电子通信委员会（ECC）为白空间识别确定从470～790MHz（UHF）的频率。在转换到数字电视（DTV）之前用于TV频道的从790～862MHz频带，被

识别确定用于 IMT 服务。

在欧洲邮政和电信管理会议（CEPT）内，2011 年 1 月 ECC 发布了 ECC 报告 159[8]，名称为“在频带 470 ~ 790MHz 白空间中可能的认知无线电系统工作的技术和操作要求”。目标是“为确保对现有无线电服务的保护，在频带 470 ~ 790MHz 的“白空间”中提供认知无线电系统（CRS）的技术和操作要求”[8]。

研究了认知引导信道、频谱感知和地理检测数据库这三项技术。所实施的研究引出如下考虑：

- 仅使用频谱感知不能保障对现有无线电服务的保护。
- 使用一个地理位置数据库似乎是避免干扰的最可行选择；在那种情形中，频谱感知是无线设备实现中的一个选项。该数据库存储有关那个位置中可用白空间和相关功率限制的信息。

在 2013 年发表了两个 ECC 报告：

- ECC 报告 185，标题为“ECC 报告 159 的补充报告：在频带 470 ~ 790MHz 中白空间设备工作的技术和工作要求的进一步定义”[9]。
- ECC 报告 186，标题为“在地理位置方法下白空间设备工作的技术和工作要求”

在文献［9］中，包含了在文献［8］中所发布结果的补充和增强方面的一些进一步研究成果。在文献［10］中，给出了文献［8］中所发布结果的有关地理位置技术方面的补充性和增强性的结果。

在报告 159 中，陈述“在…地理位置数据库用法模型的一些模型中，以行政方式定义、假定或强制 WSD 之最大允许 e. i. r. p. 的一个固定值，也许是不必要的。但是，考虑到 WSD 的用途以及它们正在保护的 DTT（数字地面电视）实现，行政方面可能仍然决定假定或强制 WSD 的最大允许 e. i. r. p. ”。WSD 功率限制的例子有，短距离通信的 10 ~ 50mW 范围，和较长距离通信的 1 ~ 10W 范围。

ECC 报告 185 处理为 WSD 建立固定最大允许功率限制的可能性。地理位置数据库有这样的任务，决定最大允许的发送功率，并将该信息传递到 TVBD，该信息受到数据库的控制。

地理位置数据库的一个查询算法的例子如下。为查询数据库，要求一个 TVBD，传递如下信息：

- 其位置和位置准确度：地理坐标和围绕坐标的不确定半径，都被发送到数据库。
- 设备类型/类/模型，设备标识符，辐射类，技术标识符：这样的参数考虑到设备能力及其技术特点。
- 期望的工作区域（可选）：TVBD 可估计工作的可能区域，并将圆的半径发送到数据库，该圆处在中心位置。

数据库以如下信息回答查询：

- 设备位置中的可用频率、最大发送功率：在计算可用信道和 tx（发送器）功率限制时，数据库考虑到所接收到的有关设备类的信息（即技术特点、干扰特点）。
- 咨询的有效数据库（可选的）：对于漫游目的，这个可选信息是有用的。事实上，如果用户移动到由另一个数据库管理的一个区域时，它必须就这种情况得到通知。
- 所提供信息的时间有效性：在那个时间之后，即使 TVBD 没有移动，它也必须对数据库做出一次新的查询。
- 感知的要求（可选的）：数据库请求具有感知能力的 TVBD 实施感知（即识别无线麦克风发送）。在感知之后，将所感知的可用信道发送到数据库，这是可被包括在内的[11]。

图 4.4 给出到地理位置数据库的查询算法的一个例子。

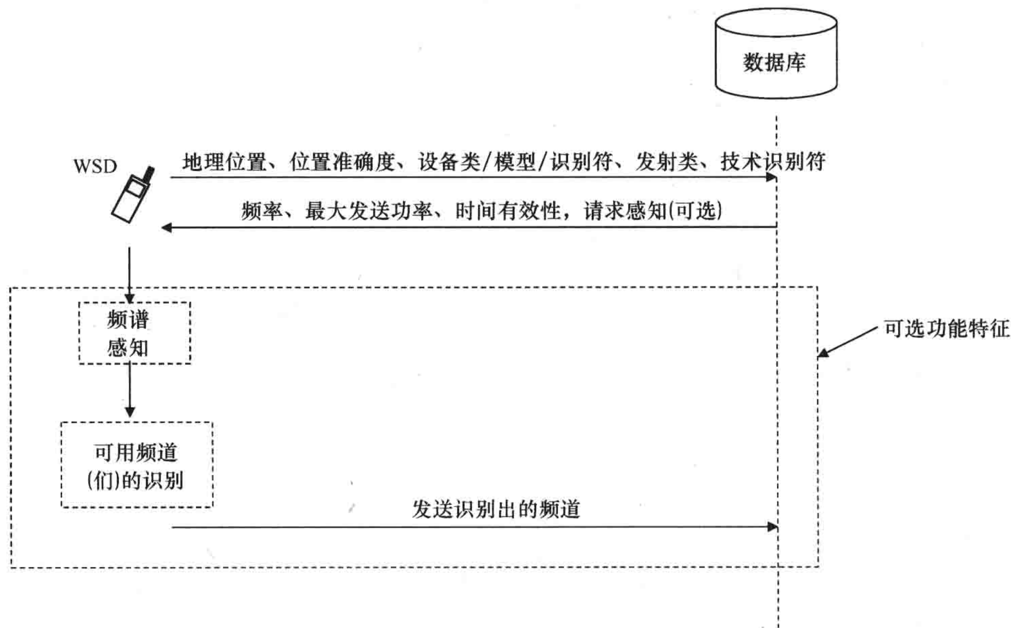


图 4.4　到地理位置数据库的查询算法的例子

如果一个 TVBD 不能查询数据库，则它可作为具有查询能力的一个主 TVBD 的附属 TVBD[8,10]。附属 TVBD 将其位置、位置准确度和设备类型传递给主 TVBD。主 TVBD 查询数据库并将可用频率传递给附属 TVBD。为了确保对主用户的干扰保护，主 TVBD 负责向附属 TVBD 指派通信资源（频率和最大发送功率）。作为一个可选功能，主 TVBD 可请求一个附属 TVBD 实施对可用信道的感知[11]。主-附属算法的一个例子如图 4.5 所示。

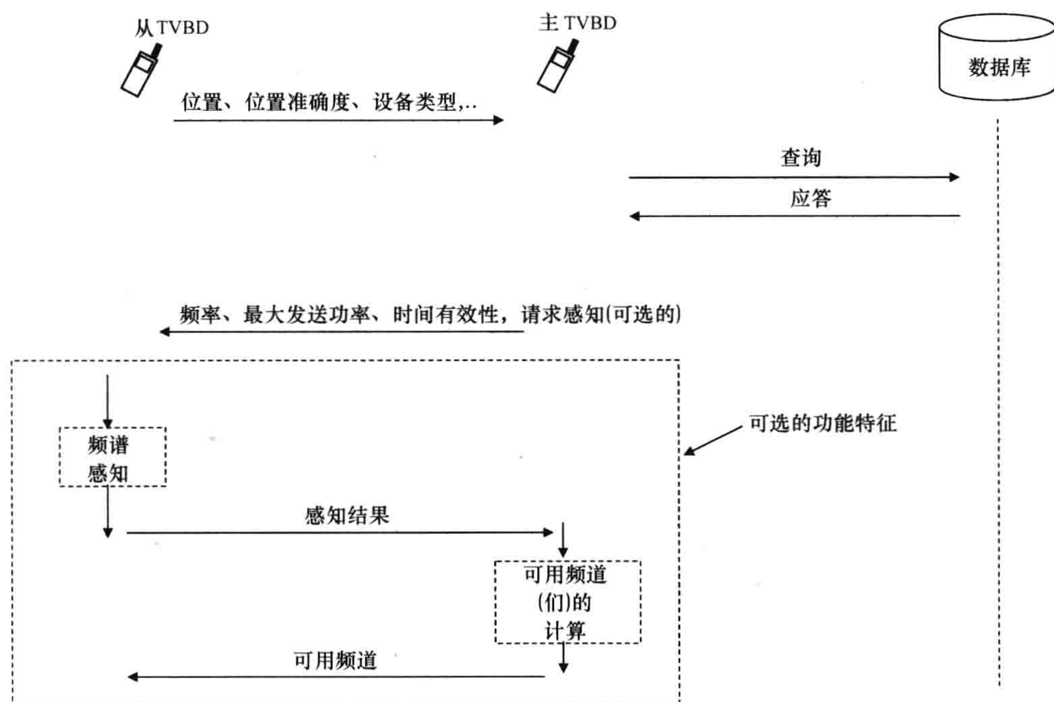


图 4. 5　主-附属算法的例子

4. 2　IEEE 802. 22

IEEE 802 工作组为不同的固定和无线网络规范协议栈的 PHY 和 MAC 层。无线网络的最重要 IEEE 标准的概述如图 4. 6 所示。

IEEE 802. 11 是无线局域网的一个标准（WLAN）。IEEE 802. 15 用于无线个域网（WPAN），并包括蓝牙的标准 IEEE 802. 15. 1，用于低速率 WPAN 的标准 IEEE 802. 15. 4，和用于高速率 WPAN 的标准 IEEE 802. 15. 3。

IEEE 802. 16 是用于无线城域网（WMAN）的，并包括固定 WiMAX 作为 IEEE 802. 16d 标准，移动 WiMAX 作为 IEEE 802. 16e 标准，以及 IEEE 802. 16m，它满足 ITU 对第四代宽带移动通信系统的要求。

IEEE 802. 22 是使用基于认知无线电的白空间的第一个标准，是在 2011 年 7 月 1 日发布的[12]。它是无线区域网络（WRAN）的一个标准，支持宽带无线接入，特别适合农村地区[13]。在 IEEE 802. 22 内部，创建了两个工作组：

- IEEE 802. 22. 1，为认知无线电设备定义一个标准，为工作在低功率下的有许可证设备提供防护保障。该标准是 2010 年 11 月 1 日发布的。
- IEEE 802. 22. 2，目标是为 IEEE 802. 22 的安装和部署定义建议实践。

IEEE 802. 22 网络的一个例子如图 4. 7 所示。

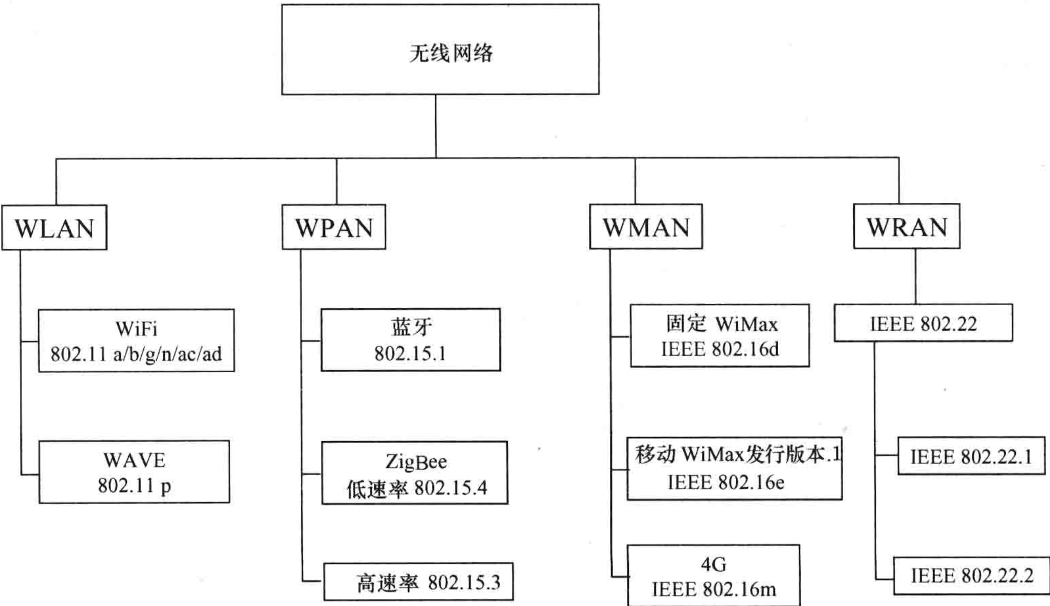


图 4.6 无线 IEEE 标准

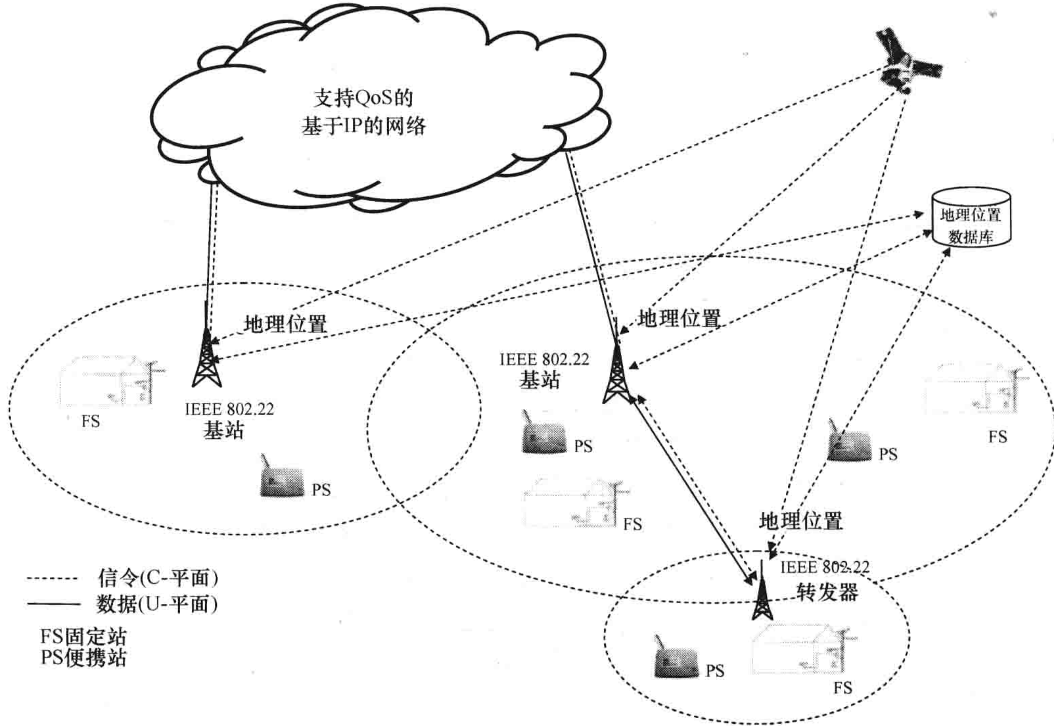


图 4.7 IEEE 802.22 网络的例子

网络拓扑是点到多点的，其中 IEEE 802.22 基站（BS）连接到互联网骨干。

在网络架构中包括基站作为再生器（repeater）。BS 实现无线电覆盖，并提供多达 512 个固定或便携站的连通性服务。每个 BS 被提供带有地理位置能力，并与地理位置数据库通信。在图 4.7 的例子中，地理位置是基于卫星的。所支持的范围典型情况下可达 30km，这取决于有效的各向同性辐射功率（e. i. r. p.）和天线高度。但是，IEEE 802.22 系统的 MAC 也能够处理距离 BS 高达 100km 的用户[12]。图 4.8 给出一个 IEEE 802.22 基站，它连接到向固定和便携设备提供服务的数据库。

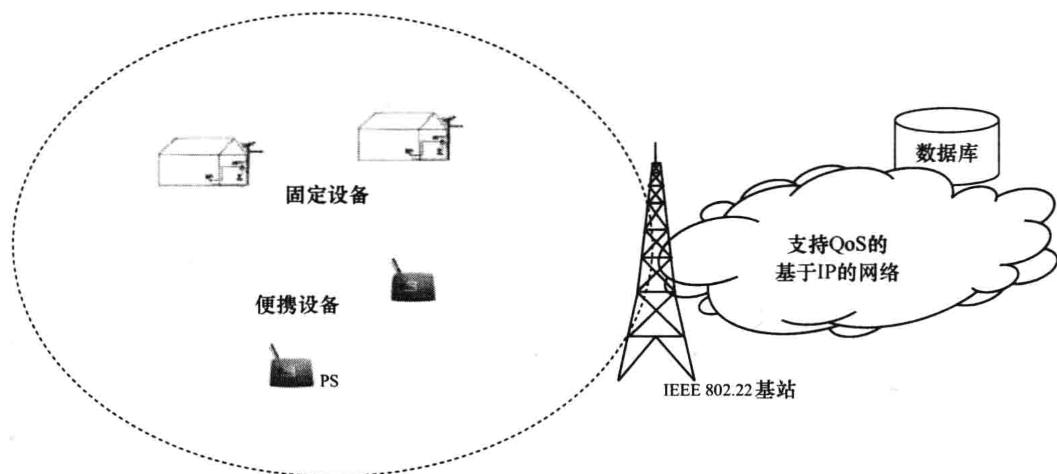


图 4.8　IEEE 802.22 基站，它连接到向固定和便携设备提供服务的数据库

该标准包括认知无线电技术（像频谱感知和地理位置能力），以便最小化到主用户的干扰，并提供到一个数据库的访问，且引入 IEEE 802.22.1 无线信标。IEEE 802.22.1 引入一个数字化调制的无线信标信号，该信号可被用来向工作在 TV 白空间中的无许可证设备指示附近存在正在工作的无线麦克风。

4.2.1　IEEE 802.22 架构

在 IEEE 802.22 架构中，一个基站实现无线电覆盖，并与多达 512 个终端进行发送传输。一个 IEEE 802.22 网络可由通过一个基于 IP 的网络连接的多个 BS 组成，它们由以中心式或分布式实现的实体加以管理。

IEEE 802.22 管理参考模型表示在图 4.9 中，除了基站和数据库外，还包括一个网络控制系统（NCS）和一个网络管理系统（NMS）。特别地，顾客端设备（CPE）和基站（BS）是由 NCS 和 NMS 管理的节点。所有节点都能够访问一项数据库服务，该服务知道在那个位置的语境，例如具有有关政策的频谱的使用情况等。电视频带设备（TVBD）可查询数据库服务，了解它们是否被允许在频谱的某个部分上发送。数据库访问和 IEEE 802.22 网络节点之间的通信是安全的。基站、网络控制系统和网络管理系统是通过一个基于 IP 的传输网络连接的。

图 4.10 给出 IEEE 802.22 网络参考模型。顾客端设备（CPE）和基站（BS）

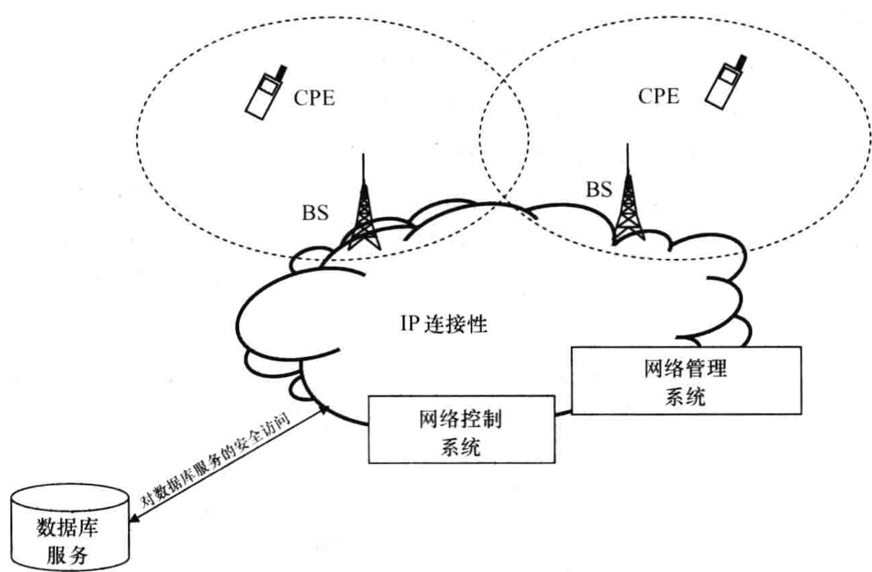


图 4.9 IEEE 802.22 管理参考模型

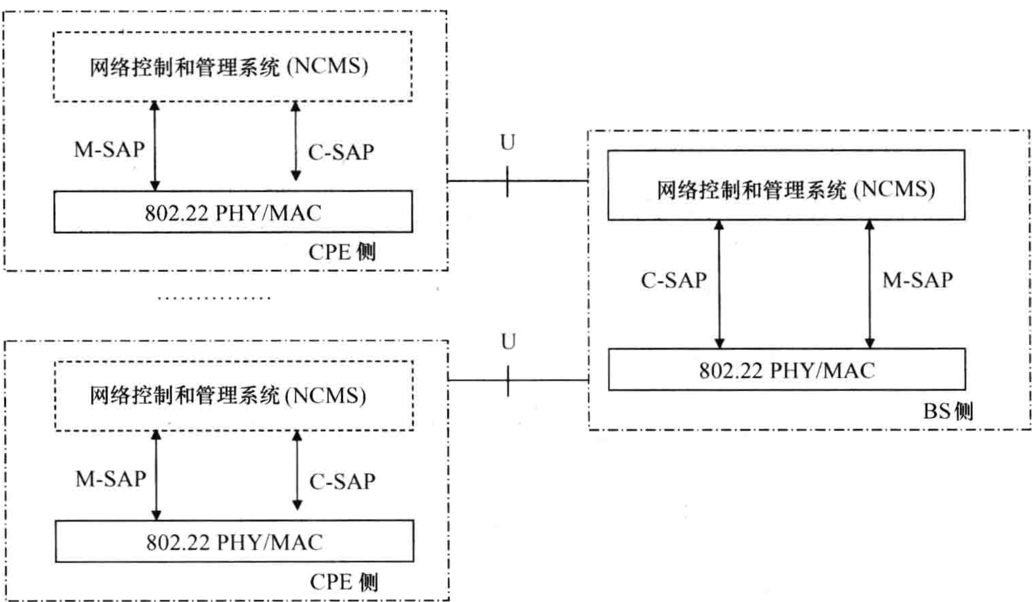


图 4.10 IEEE 802.22 网络参考模型

是由一个网络控制和管理系统（NCMS）管理的节点，在网络和用户侧进行实现。在图中，多个 CPE 连接到同一个基站（BS）。

CPE 通过 U 标准接口与 BS 通信。像 BS 和 CPE 的被管对象支持诸如简单网络管理协议（SNMP）的一种管理协议。SNMP 是由 IETF（互联网工程任务组）定义

的一个网络协议，它工作在应用层，并支持通过一个网络连接的各设备的配置、管理和监督。NCMS 和被管节点之间的接口在图中是 M-SAP 和 C-SAP，为高层提供到控制平面和管理平面功能的 NCMS 访问。M-SAP 用于低时间敏感的管理平面原语，像系统配置、统计、感知报告、地理位置报告等。C-SAP 用于高时间敏感控制平面原语，像用户和会话管理、安全语境管理、无线电资源管理等。

为在不对现有使用者造成干扰的条件下，处理 TV 频带的空闲信道中的操作，BS 使用认知无线电能力，像地理位置、对一个地理位置数据库的访问、频谱感知、频谱管理等。

图 4.11 中给出 BS 侧 IEEE 802.22 中提出的协议参考模型，图 4.12 中给出 CPE 侧的模型[12]。PRM 向常用的数据和管理/控制平面添加一个认知平面功能，它支持认知无线电能力。

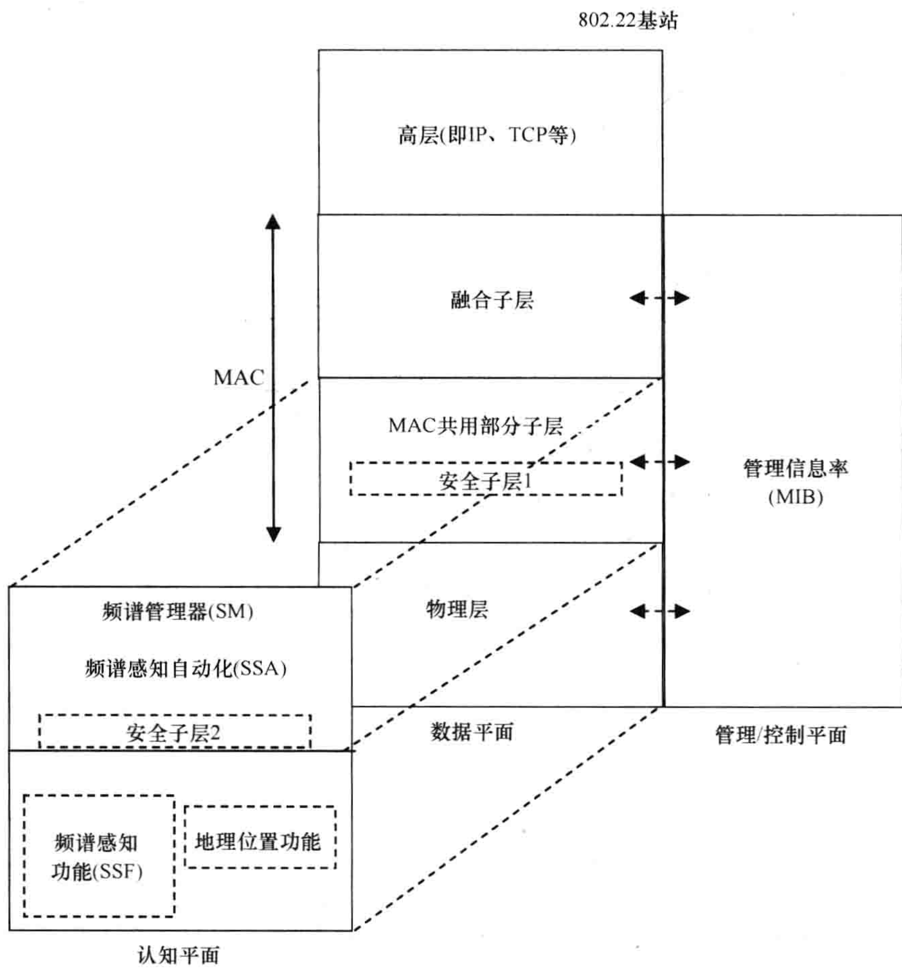


图 4.11　IEEE 802.22 BS 的协议参考模型（PRM）

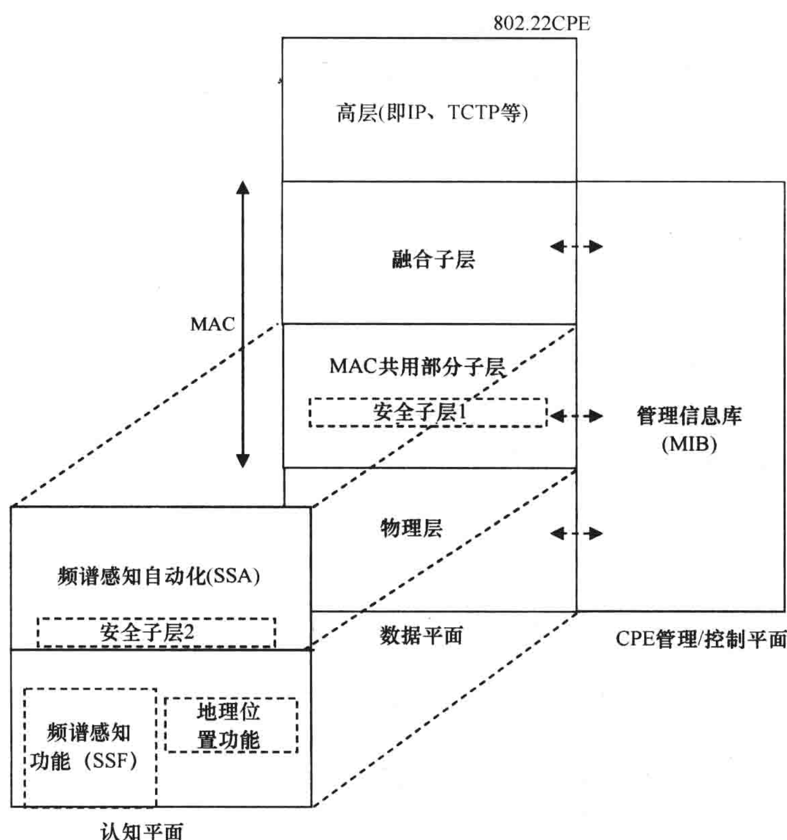


图 4. 12　IEEE 802. 22 CPE 的协议参考模型（PRM）

4. 2. 1. 1　IEEE 802. 22 数据平面

除了数据外，数据平面携带管理和控制信息。它包括物理层（PHY）、MAC 层和汇聚子层。服务访问点（SAP）位于这两层之间，因为它们是到一项服务的访问点，该服务是从一层提供给另一层的。换句话说，SAP 定义一个原语集合的一个接口，这些原语用来在各层之间交换信息。

MAC 共性部分子层

MAC 层包括共性部分子层（CPS）和安全子层 1，后者为认证、安全密钥交换、加密等提供各种机制。共性部分子层基于一个同步的超帧结构。

提供了两种工作模式：正常模式和自-共存模式。在正常模式中，一个蜂窝在一个 TV 频道上发送，并在超帧的所有帧上操作；在自-共存模式中，多个蜂窝共享相同的频道，且每个蜂窝仅在一个或几个帧上操作。各帧的结构可处在正常模式或自-共存模式。在图 4. 13 和图 4. 14 中给出这两种模式。

在两种模式中，每个超帧持续 160ms，并包含 16 个每个长度为 10ms 的帧。主要差异是，在正常模式中仅有一个无线 RAN 在超帧上发送；在自-共存模式中，一个超帧是在不同无线 RAN 间共享的。在正常模式中（图 4. 13），超帧前导和超帧

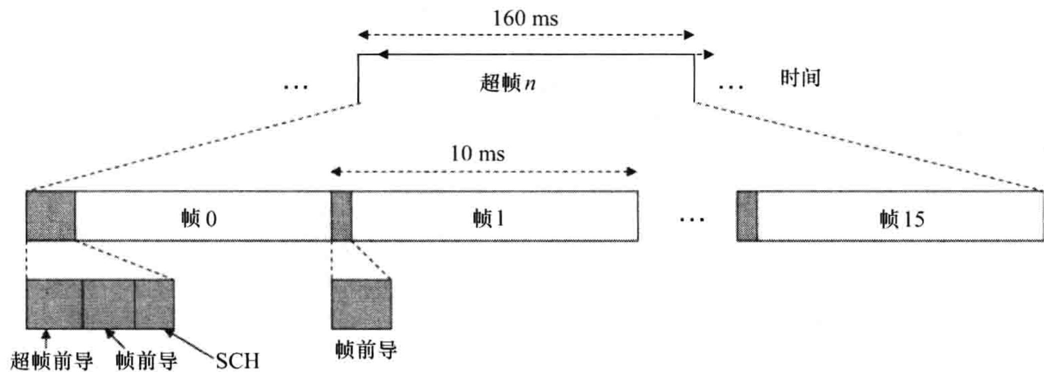


图 4.13 在正常模式中一个超帧结构的例子

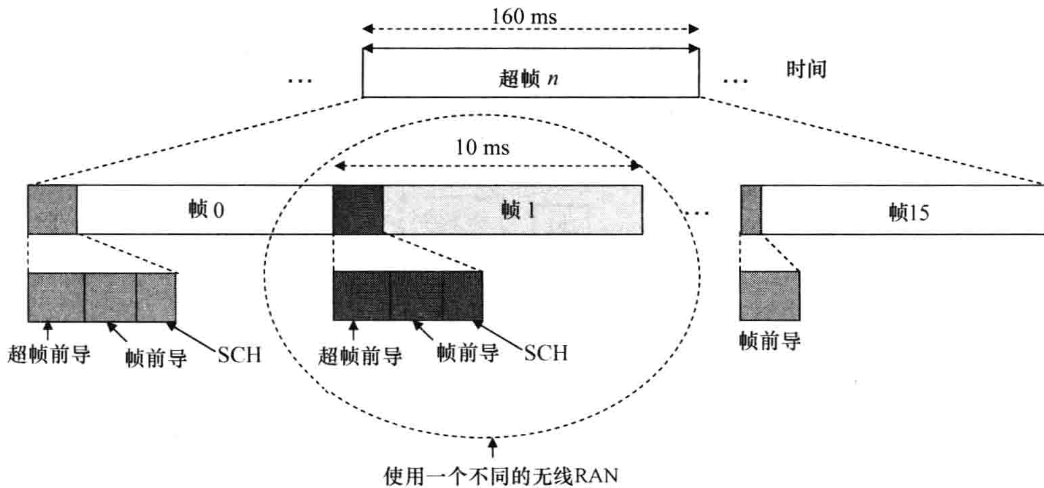


图 4.14 自-共存模式中一个超帧结构的例子

控制头（SCH）仅在一个超帧的开始部分发送；在自-共存模式中（图 4.14），超帧前导和超帧控制头（SCH）不仅在超帧的开始部分发送，原因是每个无线 RAN 在分配给它的第一个帧的开始部分发送所有字段（超帧前导、帧前导和 SCH）。图 4.15和图 4.16 分别给出操作的正常模式和自-共存模式的例子。

在图 4.15 中，BS1 工作在 TV 频道 ch1，而 BS2 工作在 TV 频道 ch2（正常模式）。在这种情形中，每个 BS 在每个超帧的开始部分发送它的超帧前导、帧前导和 SCH。在图 4.16 中，BS1 和 BS2 共享相同的 TV 频道 ch1。在这种情形中，它们工作在自-共存模式，且在这两个 BS 之间共享一个唯一的超帧。在这幅图中，从 0 到 8 的帧被分配给 BS1；从 9 到 15 的帧被分配给 BS2。每个 BS，在其被分配的时段（各帧）开始时，发送它的超帧前导、帧前导和 SCH。一个 CPE 使用超帧和帧前导，与超帧和每个帧进行同步。一个 CPE 必须接收子帧控制头（SCH），关联到

一个 BS 并与之建立通信。

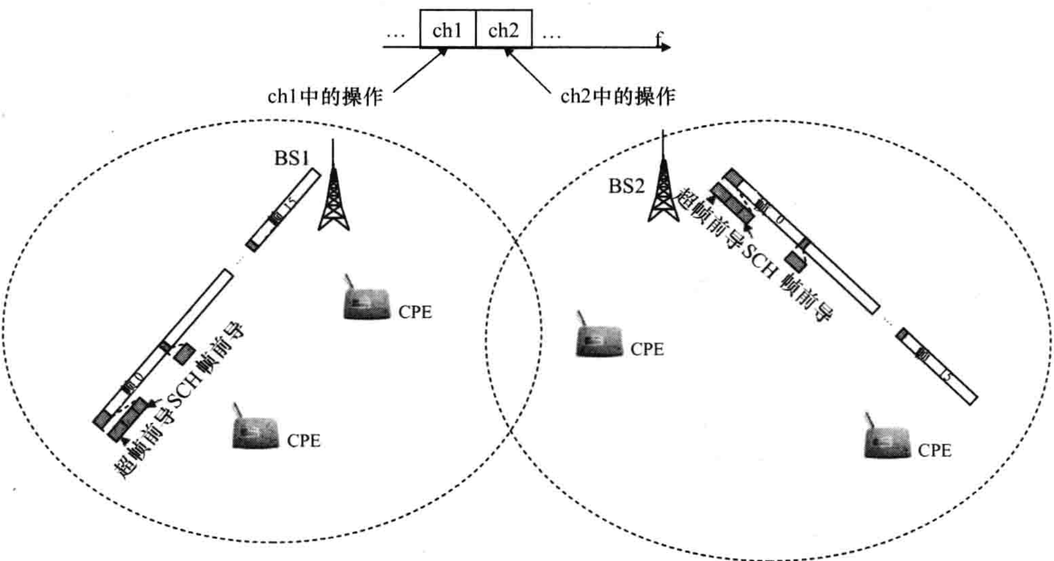


图 4.15 操作的正常模式的例子

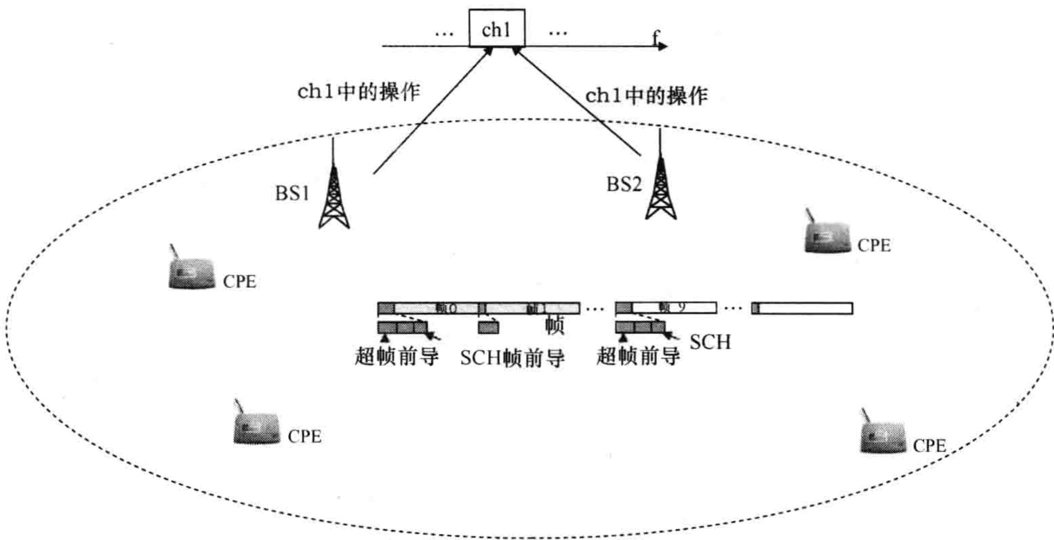


图 4.16 工作的自-共存模式的例子

SCH 携带信息，像：

- BS_ID：是识别 SCH 中发送的 BS 的 MAC 地址。
- 帧分配映射：指明子帧中的哪些帧分配到 BS，哪个帧正在 SCH 中发送。
- 自-共存能力指示器：指明 BS 是否支持自-共存模式。

SCH 中的其他字段包括超帧号和物理层参数。此外，BS 在 SCH 静默期间进行调度感知，并支持与现有 BS 和其他 IEEE 802.22 蜂窝的共存，方法是包括共存信

标协议（CBP）突发。在本节后面描述 CBP。

每个帧被分为一个下行（DS）子帧和一个上行（US）子帧，取决于时间分配，它们的长度是可调节的。帧结构如图 4.17 所示。

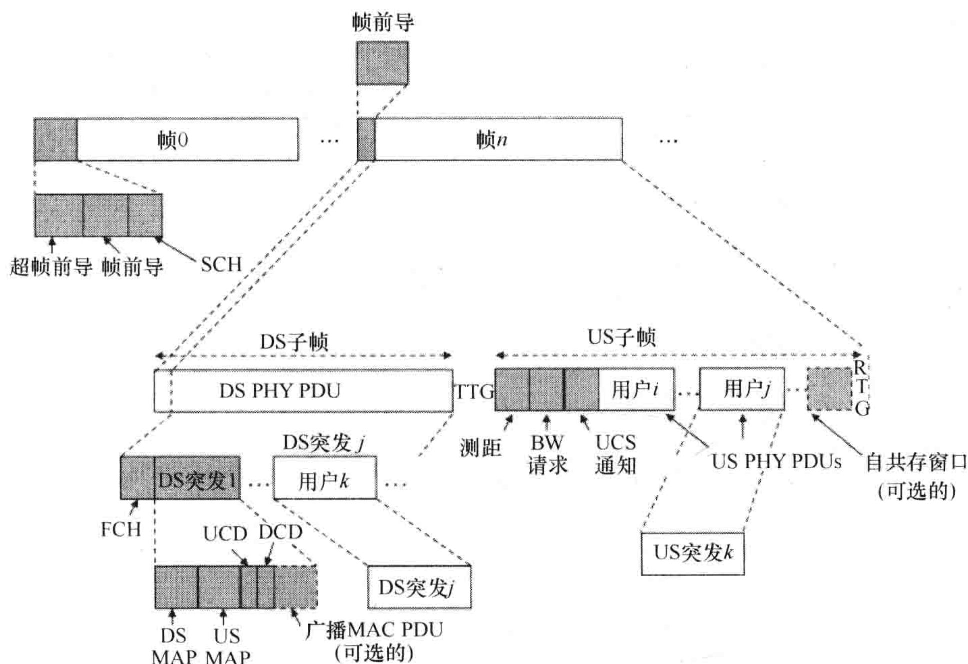


图 4.17　IEEE 802.22 帧结构

每个 DL 子帧开始于一个帧前导，用于无线电信道、频率偏移和接收功率的同步和估计。在帧前导之后，帧控制头（FCH）确定突发概要以及 DS-MAP 和 US-MAP（映射）字段的长度。FCH 字段后跟 DS 突发。

紧跟 FCH 的第一个 DS 突发是以广播方式发送的，并包含如下字段：

- DS-MAP（下行 MAP）：它是第一个 DS 突发的第一个 MAC-PDU，定义 DS 子帧的结构。
- US-MAP（上行 MAP）：它定义 US 子帧的结构。
- UCD（上行信道描述符）：它以广播方式发送，并定义上行物理信道的特征。
- DCD（下行信道描述符）：它以广播方式发送，并定义下行物理信道的特征。
- 广播 MAC PDU（可选的）：它是可选的，并携带其他广播信息。

DS 子帧的其他 DS 突发分配给各用户。它们包括几个 MAC 协议数据单元（PDU）和一个填充字段（PAD）（如有必要）。US 子帧由称作发送/接收转换间隙（TTG）的保护时间与 DS 子帧隔离开。

US 子帧开始于如下字段：

- 有效距离探查槽：用来实施初始和周期性的有效距离探查。
- BW 请求槽：CPE 使用向 BS 请求资源。
- 紧急共存状况（UCS）通知槽：由 CPE 使用将在相同信道上检测到一个现存 BS 的情况通知 BS。

在上行帧的结束处，一个可选自-共存窗口用于共存信标协议（CBP），它基于 CBP 分组的发送，各分组携带有关蜂窝和其他共存机制的信息。每个 MAC PDU 包含一个 MAC 首部、一个 MAC 净荷和一个 CRC。DS 和 US 突发的结构以及 MAC PDU 的结构如图 4.18 所示。

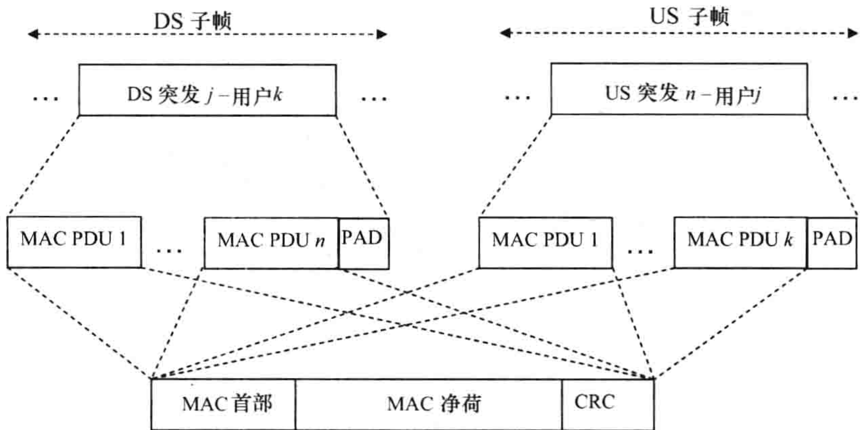


图 4.18 DS 突发、US 突发和 MAC PDU 的结构

图 4.13、图 4.14、图 4.17 和图 4.18 给出仅在时域中的帧和超帧的突发，这里遵循时间复用原则。信息实际上是在二维时间/频率域发送的，带有 2048 个正交频分多址（OFDM）子载波，如图 4.19 例示。一次突发是一个二维的 OFDM 子信道（在频域）和符号（在时域）分段。一个子信道是在上行和下行中子载波分配的基本单元，且由 28 个子载波组成。

IEEE 802.22 物理层

IEEE 802.22 物理层支持时分复用（TDD），并在下行链路和上行链路都基于正交频分多址（OFDMA）。OFDMA 是基于 OFDM 调制的一种多址技术，这是多载波发送的一个特例。在 OFDM 中，一条高比特率比特流被分成多条低比特率的流，每条流都是在一条独立的子载波上进行 QAM-调制的。

OFDM 子载波（不像 FDM 子载波）是部分重叠的，由此就带宽方面允许相当的节省。在第 1 章 1.2.6.2 节介绍了 OFDM 调制器和解调器方案。图 4.20 给出带有一个循环前缀（CP）的等价 OFDM 基带发送方案。

在发送侧，N 个调制符号 X_i（即 QAM 符号）作为 IFFT 块的输入，产生 OFDM 符号 $\{x_1 x_2 \cdots x_N\}$。带有记忆的一个信道的存在，产生 OFDM 符号干扰。为消除这种干扰，由 v 个符号组成的一个循环前缀被添加到发送序列 $\{x_i\}$。输入序列的周

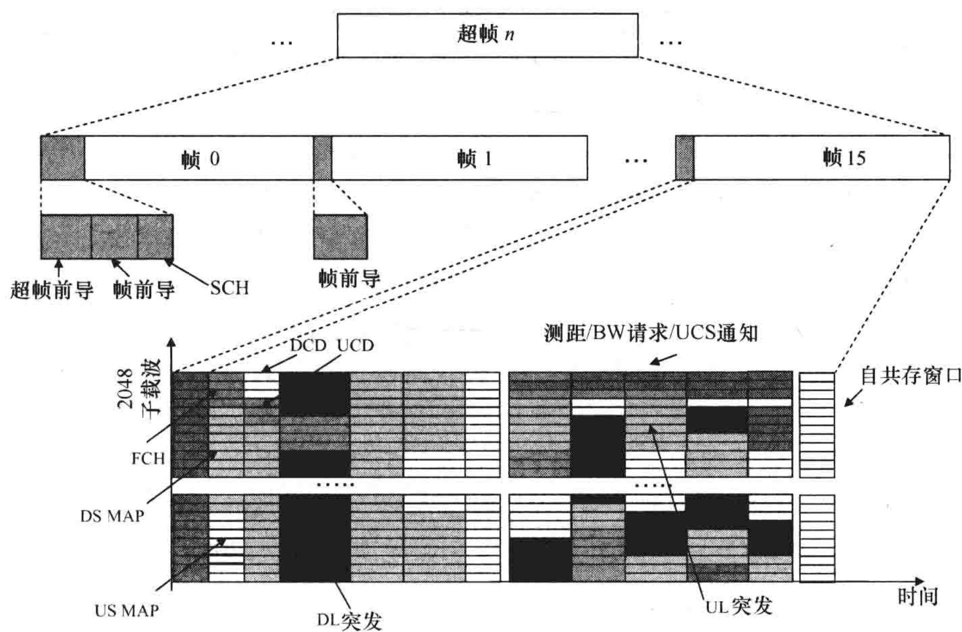


图 4.19　一个 IEEE 802.22 MAC 帧时间/频率结构的例子

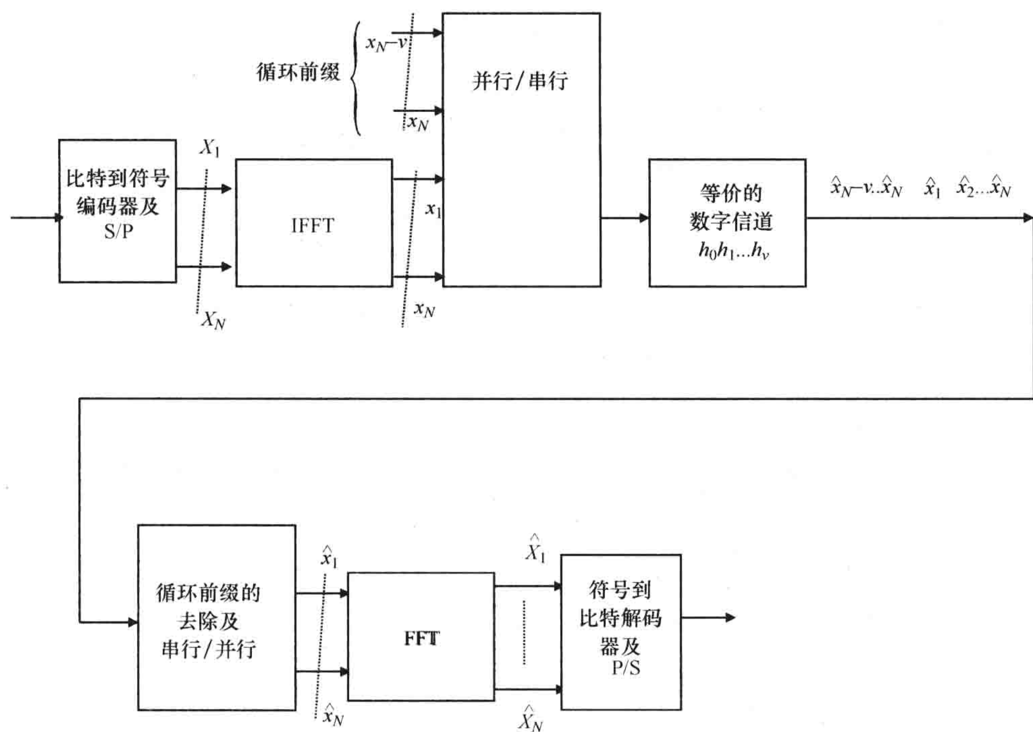


图 4.20　带有一个循环前缀的等价 OFDM 基带发送方案

期性是这样模拟的，复制序列的最后 v 个样本，并将之放在头部。长度为 v 的 CP 被插入到带有记忆 v 的一个信道，以便消除 OFDM 间符号干扰。那么，符号时间是：

$$T_{SYM} = T_{FFT} + T_{CP} \tag{4.1}$$

式中 T_{FFT}是载波间隙 Δf 的倒数，一个 IEEE 802.22 WRAN 的 T_{CP}可以是如下值之一：$T_{CP} = T_{FFT}/32$；$T_{CP} = T_{FFT}/16$；$T_{CP} = T_{FFT}/8$；$T_{CP} = T_{FFT}/4$。

IEEE 802.22 使用6、7 或 8MHz 的 TV 频道，有等于2048 个子载波，分别支持 4QAM、16QAM 和 64QAM 的调制。表 4.2 给出主要系统参数。

表 4.2 IEEE 802.22 主要系统参数

系统参数	值
频率范围	54 ~ 862MHz
带宽	6、7 或 8MHz
多址	OFDMA
子载波数	2048
双工	TDD

链路适配将调制和编码的选择适配到接收信道质量[14]。表 4.3 给出当所用带宽为 6MHz 和 $T_{CP} = T_{FFT}/16$ 时 IEEE 802.22 的数据通信调制和编码方案。对于 7MHz 或 8MHz 的频带，调制和编码方案是相同的，但采样频率、载波间隔和符号时长随带宽而成比例放大或缩小。

表 4.3 IEEE 802.22 数据发送的调制和编码方案

PHY 模式	PHY 比特率/Mbit/s	编码率	调制
1		未编码	BPSK
2		1/2 重复：4	QPSK
3		1/2 重复：3	QPSK
4		1/2 重复：2	QPSK
5	4.54	1/2	QPSK
6	6.05	2/3	QPSK
7	6.81	3/4	QPSK
8	7.56	3/4	QPSK
9	9.08	1/2	16-QAM
10	12.10	2/3	16-QAM
11	13.61	3/4	16-QAM
12	15.13	5/6	16-QAM
13	13.61	1/2	64-QAM
14	18.15	2/3	64-QAM
15	10.42	3/4	64-QAM
16	22.69	5/6	64-QAM

物理模式 1 用于 CDMA 机会性（opportunist）突发；物理模式 2 用于 SCH 分组发送；物理模式 3 用于 CBP 发送；物理模式 4 用于 SCH 发送。CDMA 突发用于初始距离测量和基于陆地的地理位置；CBP 是基于分组发送的一个协议，携带能够帮助共存 IEEE 802.22 蜂窝管理共享频谱的信息。在本章 4.2.1.4 节描述了 CBP 协议。物理模式 1、2、3 和 4 没有相应的比特率，原因在于它们是用于信令的。

4.2.1.2　IEEE 802.22 管理/控制平面

管理控制平面处理管理信息库（MIB）。它是用于管理网络实体的一个虚拟数据库。位于 MIB 数据库通信以及网络实体（即 BS、CPE、路由器）的配置、管理和监管通信所采用的协议是简单网络管理协议（SNMP）。

SNMP 是由 IETF（互联网工程任务组）在 RFC（请求评述）中定义的一个网络协议，它在应用层工作，并支持对通过一个网络所连接的各设备的配置、管理和监管。与 SNMP 有关的其他 RFC 有 RFC 1213[16] 和 1157[17]。

4.2.1.3　IEEE 802.22 认知平面

认知平面包括物理层的频谱感知（SS）和地理位置（GL）以及在 MAC 层的频谱管理器（SM）和频谱感知自动化（SSA）。认知平面也包括一个专用的安全子层 2。

频谱感知

频谱感知是在认知平面的物理层实现的。频谱感知是由 CPE 在现有 BS 存在的区域中检测可用 BS 的。BS 和 CPE 使用频谱感知来感知可用频谱，选择最佳可用信道，与其他用户或基站协同使用被选信道，并当检测到一个有许可证用户时释放信道。这有助于解决现有使用者的检测和保护问题。

在本书 2.2.1 节描述频谱感知原理和技术。

地理位置

认知无线电使用未用频带进行数据发送。因为未使用频带随位置而不同，所以使用位置信息来帮助频谱管理算法。

取决于锚点是卫星或陆地网络节点（即基站），地理位置技术可以是基于卫星的或基于陆地的。基于卫星的地理位置的一个例子，是全球定位系统（GPS）。通过与 GPS 卫星发送的信号同步，一个 GPS 接收器可计算它的位置。每颗 GPS 卫星不断地发送消息，包括消息发送的时间和在那个时间时卫星的位置。位置信息由接收器用作一个已知点，估计到每颗卫星的距离，从而应用基于三边法的定位算法。在本书 2.2.1.4 节提供了三边法和其他地理位置技术的概述。

IEEE 802.22 将基于卫星的地理位置法作为必备法，也支持基于陆地的地理位置能力。依据 IEEE 802.22，每个 BS 和每个 CPE 使用其在物理层的基于卫星的地理位置能力来确定其发送天线的纬度和经度[12]。之后每个 CPE 在注册规程中通过一个 NMEA（美国国家海洋电子协会）字符串，向 BS 提供其坐标（即纬度和经度）。图 4.21 给出注册规程的一个例子。

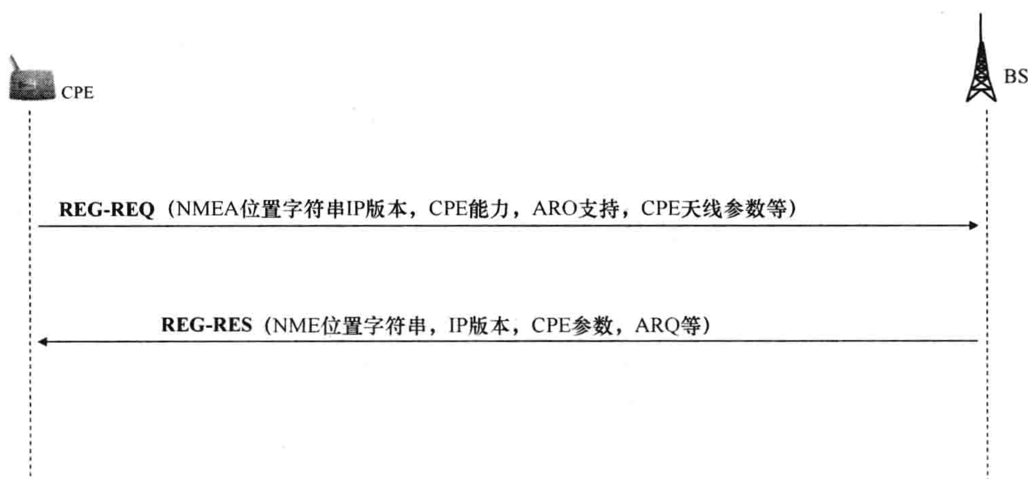


图 4.21 注册规程的例子

注册请求（REG-REQ）和注册响应（REG-RSP）消息可携带支持注册规程的信息元素（IE）。在 REG-REQ 消息中，发送一个 NMEA 位置字符串和其他信息，像所支持的 IP 版本、CPE 能力、对 ARQ 的支持、CPE 天线参数等。在 REG-RSP 中，确认 NMEA 位置，并将配置参数赋予 CPE。

可向一个 WRAN 提供一项位置数据库服务，该服务知道与位置有关的可用信道，向 CPE 或 BS 指派一个或多个信道，该服务还知道最大允许功率和时间有效期。各 CPE 发送位置坐标数据库，以便更新它的信息。

频谱感知自动化

频谱感知自动化（SSA）是在 BS 和 CPE 中认知平面的 MAC 层实现的。SSA 作为频谱感知功能（SSF）的接口，并执行从频谱管理器（SM）接收的命令，以便激活频谱感知。SSA 实施带内和带外感知。当测量在操作信道和第 1 邻接信道（N 和 $N\pm1$）中实施时，感知是带内方式，在所有其他情形中是带外的。

对于带内感知，在 BS 侧的频谱管理器（SM）调度带内频谱的静默周期（QP），并通过 MAC 帧的超帧控制头（SCH）将被调度 QP 通知各 CPE。各 CPE 使用被调度周期实施带内频谱感知。如果发现一个现有占用者，则 CPE 使用下一个上行 PDU 头中的 UCS（紧急共存状况）或通过上行链路 MAC 帧中的一个机会性通知窗口中的一个 UCS 通知，向 BS 发送一个通知。带内频谱感知规程的一个例子如图 4.22 所示。

当 CPE 处在一个空闲状态时，实施带外感知。CPE 将感知结果报告给 BS。之后 BS 就能够更新其信道列表中的信道状态。带外感知也可通过一条带外感知结果请求消息，显式地由 BS 请求。

BS 也请求 CPE 通过 MAC 测量消息在某些信道上实施测量，这些消息如单测量请求或块式（bulk）测量请求（BLM_REQ）。如果测量请求是通过 BLM_REQ 进

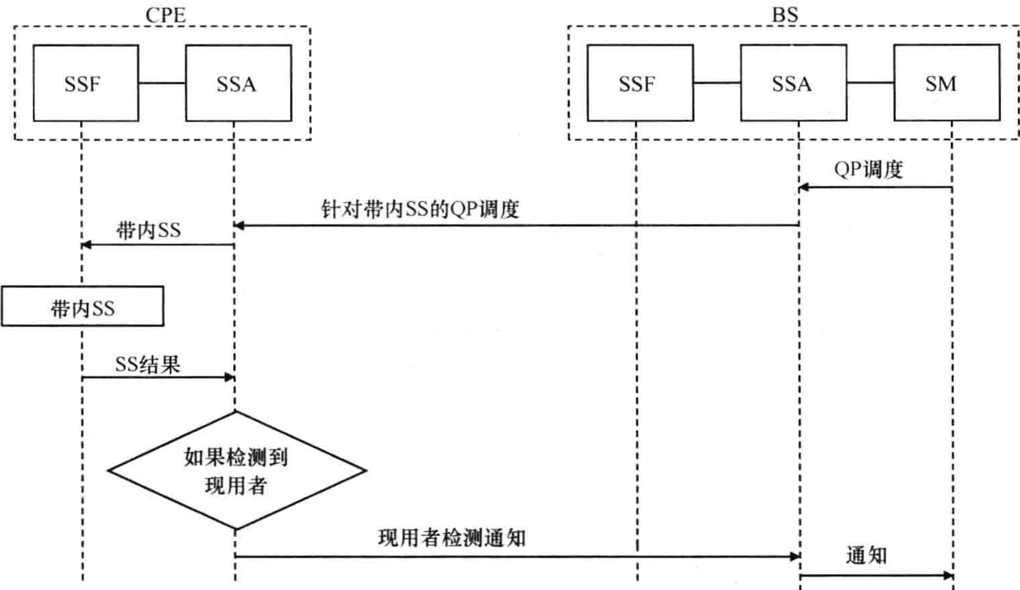


图 4.22　带内频谱感知规程的例子

行的，则在不同信道中的一个以上的测量可通过到一个或多个 CPE 的单播、组播或广播消息由 BS 发出请求。在消息中，定时参数也包括在内，指明测量的时间间隔。块式测量响应（BLM_RSP）消息用来确认收到 BLM_REQ。CPE 通过包含测量报告的 BLM_REP（块式测量报告）消息报告其测量。最后，通过 BLM_ACK 确认 BLM_REP。测量管理规程的一个例子如图 4.23 所示。

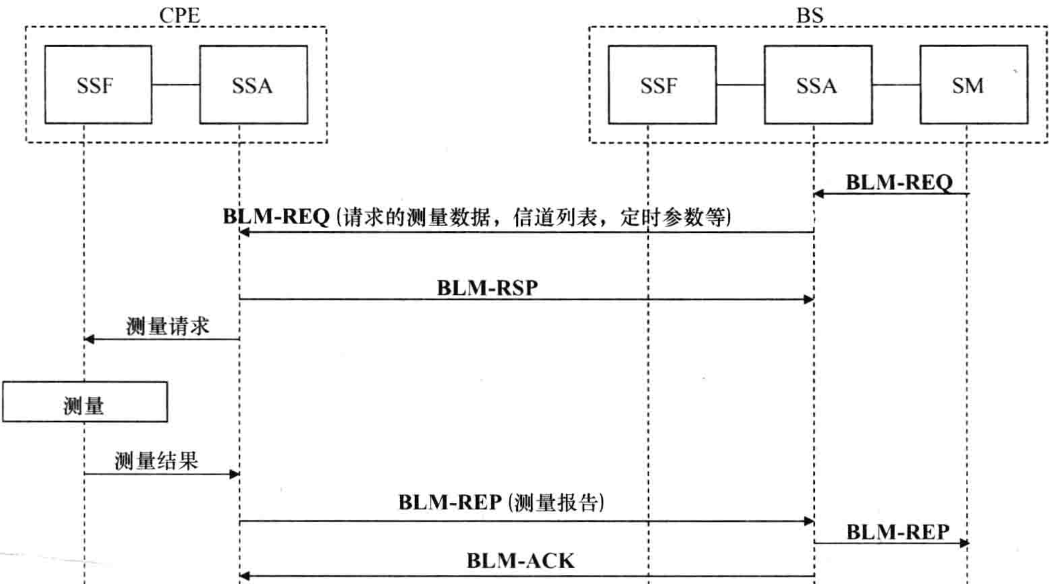


图 4.23　测量管理规程的例子

一般而言，SSA 控制如下情形中的频谱感知功能。在 BS 侧：

- 当 BS 打开时；
- 当 BS 不在发送时的带外感知期间。

在 CPE 侧：

- 当 CPE 打开时；
- 在带内感知时，由 BS 频谱管理器调度的静默时段（QP）期间；
- 在 CPE 空闲时段期间；
- 当 CPE 丢失与 BS 的联系时。

数据库服务

IEEE 802.22 假定一种点到多点网络架构，其中一个基站（BS）控制其所关联的 CPE 的无线电参数。各 BS 被连接到一项数据库服务，该服务包含有关频谱使用和可用信道的信息。到数据库的接口发送在 IEEE 802.22 基站（BS）和地理位置数据库之间。图 4.24 给出一个带有数据库服务的 IEEE 802.22 WRAN 的例子。

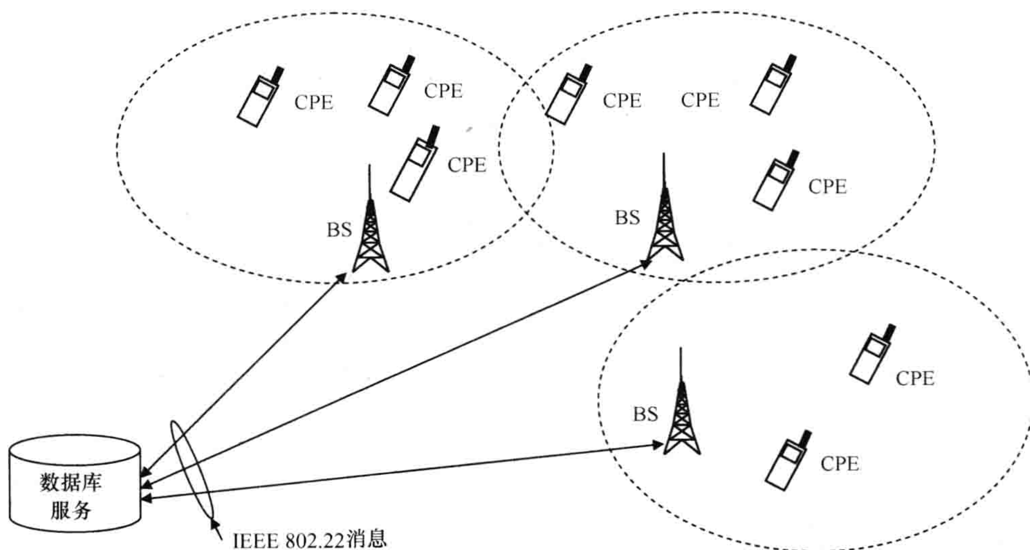


图 4.24 带有数据库服务的 IEEE 802.22 WRAN 的例子

在开始时，每个 BS 将作为一个固定设备向数据库注册。之后各 BS 也将其关联的 CPE 以及其地理位置、CPE 标识符等注册到数据库。各 BS 也将周期性地查询数据库，使用 M-DB-AVAILABLE-CHANNEL-REQUEST 消息得到有关在用信道的信息。数据库也将发送到各 BS，通过 push（推送）消息实现更新。

在 IEEE 802.22 标准中为一个 BS 和地理位置数据库之间的通信，定义了数据库服务原语。数据库服务原语有[12]：

- M-DB-AVAILABLE-REQUEST：BS 验证其到数据库的连接是否可用。
- M-DB-AVAILABLE-CONFIRM：数据库确认到 BS 之连接的可用性。

• M-DEVICE-ENLISTMENT-REQUEST：BS 将已经加入到其网络的一个设备登记到数据库。

• M-DEVICE-ENLISTMENT-CONFIRM：数据库向 BS 确认设备登记。

• M-DB-AVAILABLE-CHANNEL-REQUEST：BS 为一个已登记的设备向数据库请求具有最大允许 e.i.r.p. 的可用信道列表。

• M-DB-AVAILABLE-CHANNEL-INDICATION：数据库向 BS 指明那台设备的可用信道（带有其最大允许功率）。

• M-DB-DELIST-REQUEST：BS 请求数据库将不再处于其网络中的一个设备去除登记。

• M-DB-DELIST-CONFIRM：数据库向 BS 确认设备已经去除登记。

图 4.25 给出一台 BS 和数据库之间通信的一个例子。

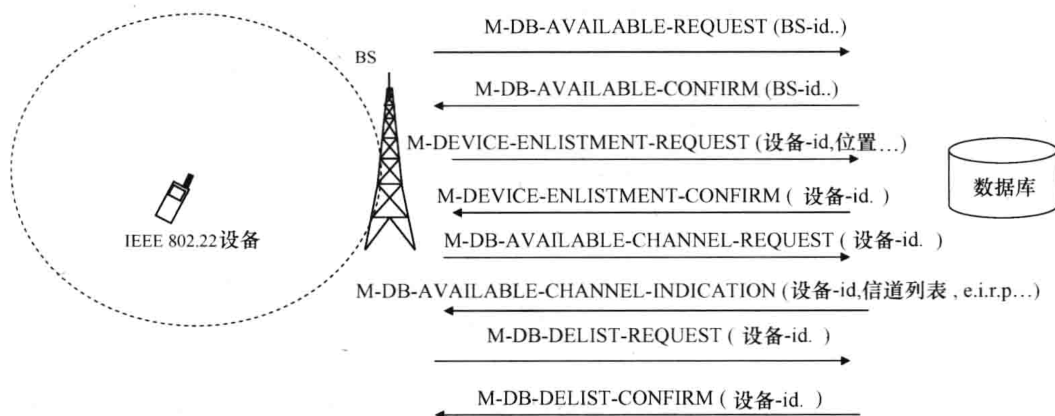


图 4.25　一台 BS 和数据库之间通信的例子

频谱管理器

频谱管理器（SM）是在 BS 侧认知平面的 MAC 层实现的。它是基站（BS）的一个非常重要的组成部分，原因是它负责与频谱管理有关的所有任务，像维护频谱可用性信息、信道选择和管理、调度频谱感知操作等。它保障实施频谱政策，访问数据库服务，并确保现有使用者的保护（措施有效）。它使用来自物理层的地理位置和频谱感知功能的输入，频谱感知自动化的输出，以及来自数据库服务的信息（即频谱政策，可用信道列表等），目的是为 WRAN 蜂窝确定最优信道并为 CPE 确定功率限制。频谱管理器和其他 IEEE 802.22 实体之间信息交换的一个例子如图 4.26所示。

SM 与数据库通信，从数据库接收有关信道可用的信息，并将信道分类为可用或不可用。可用信道可被分类为：

• 被保护的：信道正在使用（由一个现有使用者或一个 802.22 WRAN）。

• 未分类的：还没有感知到信道。

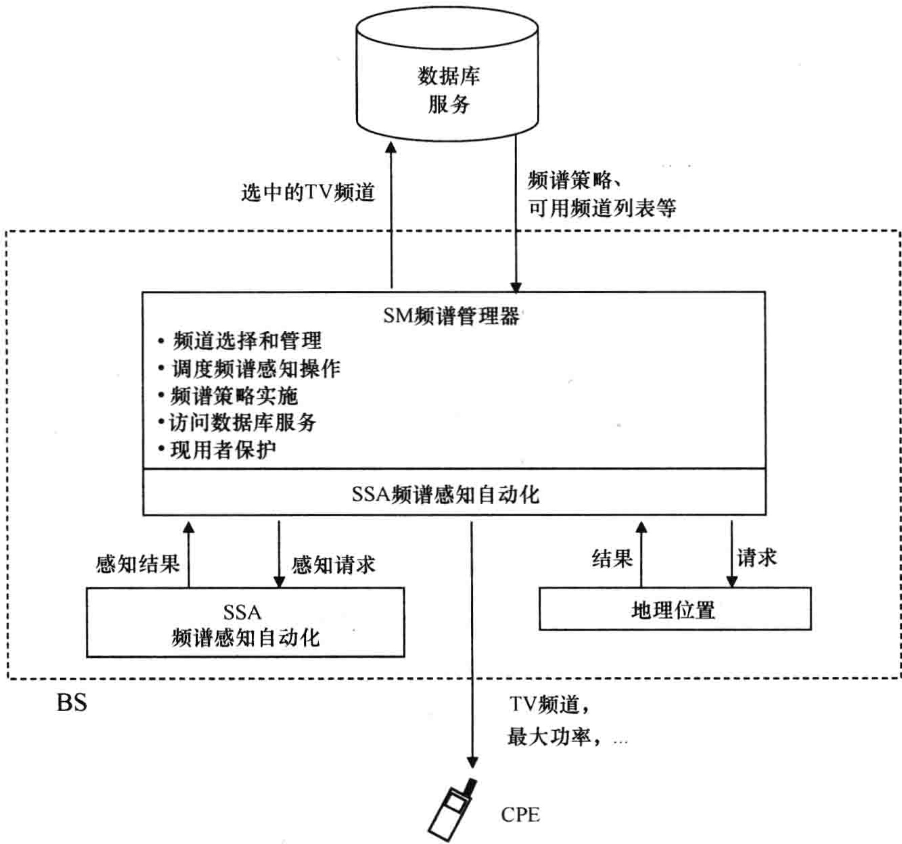


图 4.26 频谱管理器和其他 IEEE 802.22 实体间信息交换的例子

- 不允许的：因为规章制度约束，信道是不允许使用的。
- 工作状态：信道正在工作于一个蜂窝中一台 BS 和各 CPE 之间的通信。
- 备份：信道已经被释放，如果蜂窝需要切换到另一个信道，则该信道可成为工作信道。
- 候选：信道是成为一个备份信道的一个候选信道。

图 4.27 给出信道分类流图。

当信道分类规程开始时，频谱管理器（SM）验证存在数据库服务，以便从数据库得到可用信道的列表。对于每个可用信道，实施频谱感知。如果不能感知检测到可用信道，则它被分类为未分类的；否则频谱管理器就所感知的信道做一个决策，并对之分类。

4.2.1.4 共存

IEEE 802.22 提供两种工作模式：正常模式和自-共存模式。在正常模式，一个蜂窝在一个 TV 频道上发送，并在超帧的所有帧上实施操作；在自-共存模式中，多个蜂窝共享相同信道，且每个蜂窝在超帧的一个或几个帧上实施操作[18]。共存

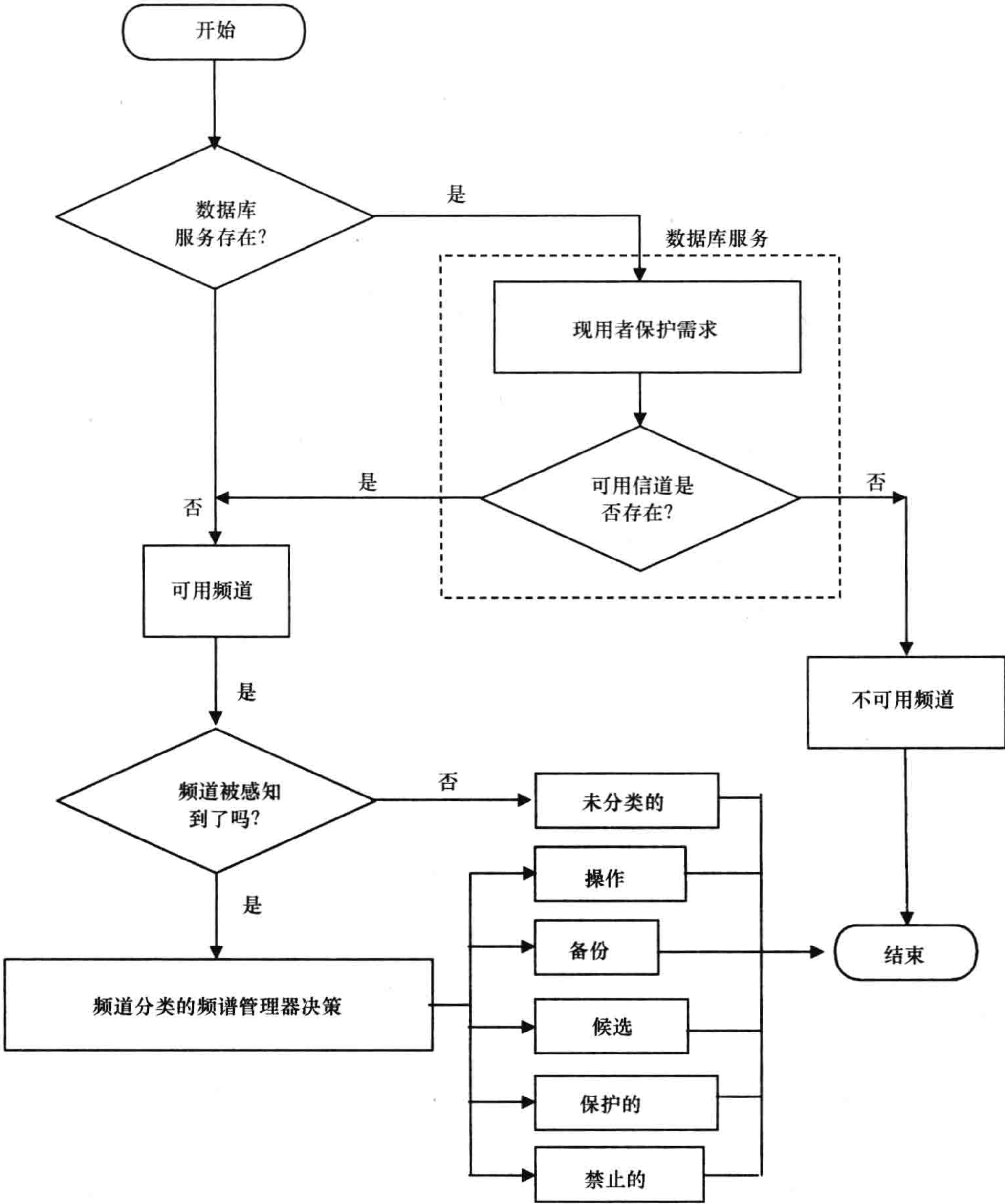


图 4.27　信道分类流图

是通过共存信标协议（CBP）在 MAC 层实施管理的，CBP 是 WRAN 间通信和自-共存的一种传输机制，如图 4.28 所示。

图 4.28 表明，CBP 是两种 MAC 自-共存方案的一种传输机制：

- 频谱成规（etiquette）：如果存在足够多的可用信道，且为不同 WRAN 蜂窝可找到正交的工作和备份信道，则使用频谱成规，这意味着 WRAN 蜂窝工作在正常的工作模式。

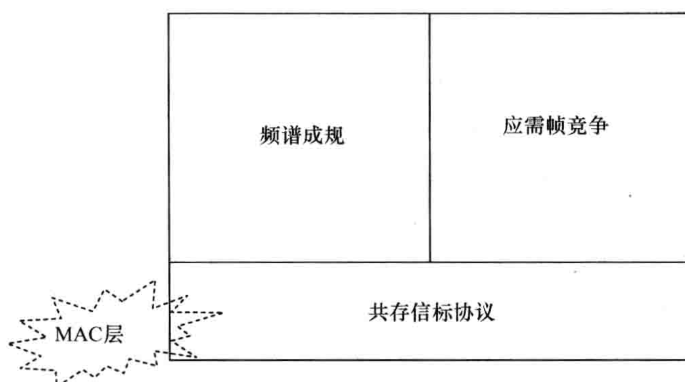


图 4.28 共存信标协议（CBP），作为 WRAN 间通信和自-共存的一种传输机制

• 基于帧的应需频谱竞争：如果没有足够多的可用信道，且不同的 WRAN 蜂窝必须共享相同信道时，则使用这种方式，由此各 WRAN 蜂窝工作在操作的自-共存模式。

BS 间自-共存机制的执行流如图 4.29 所示。当 BS 打开时，它实施网络发现操作，即它从邻接 WRAN 蜂窝搜索使用的信道、邻接 WREAN 蜂窝的自-共存窗口预

开始：BS上电
BS网络发现
是
频谱成规：信道获取
获取到信道?
否
是
正常操作模式
仅BS间
有干扰?
否
是
应需帧竞争
DS/US
分离调整
共存操作模式
用于WRAN间频谱感知的外部命令
频谱获取的内部命令

图 4.29 BS 间自-共存机制的执行流

留和其他信息。之后 BS 基于频谱成规运行一种信道获取算法。如果算法是成功的，那么已经找到足够的可用信道，且 BS 运行在正常模式之中。

如果 BS 不能获取一个空闲信道，则它选择由一个或多个蜂窝占据的一条信道，并识别干扰源是另一个 BS 还是 CPE。在第一种情形中，它运行 DS/UP 分割调整；否则它运行应需帧冲突算法，并转换到自-共存工作模式。

资源获取的内部需求或 WRAN 频谱共享的外部需求，再次将流图带到频谱成规步骤。动态资源共享算法支持 IEEE 802.22 蜂窝间的协作，目的是优化共存 WRAN 蜂窝间的频谱资源使用情况。一个例子是如图 4.30 所示的场景，其中有互联的基站。频谱可在同一个运营商（运营商内状况）的蜂窝间共享或不同运营商（运营商间状况）的蜂窝间共享。

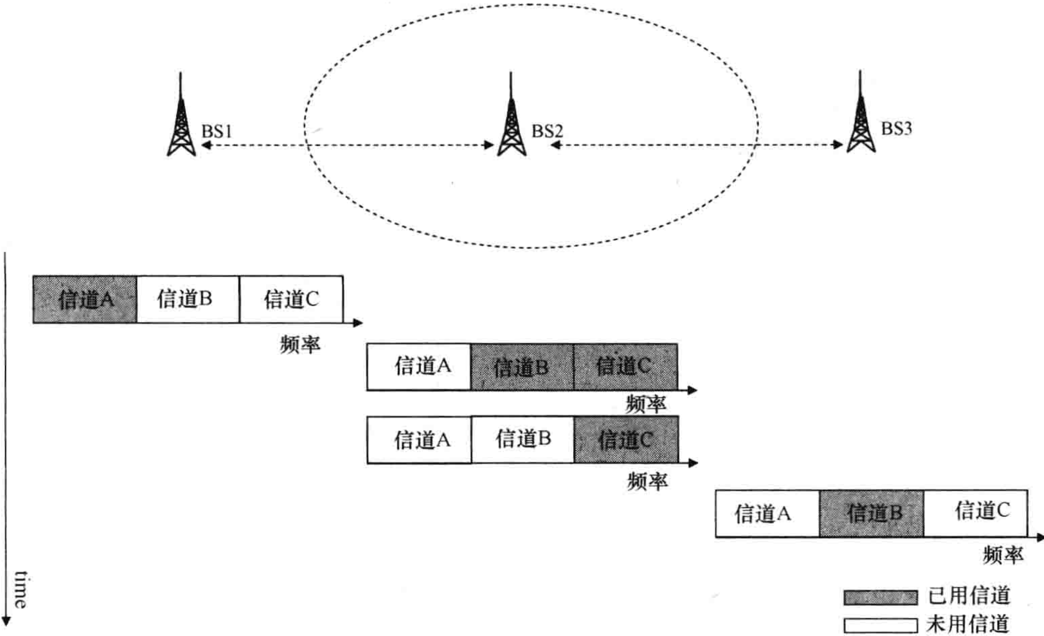


图 4.30　与互联的 WRAN 基站实施动态资源共享的例子

图 4.30 刻画的例子中，在开始时，BS1 正在使用信道 A，没有使用信道 B 和 C。因为这点，BS1 将未用信道提供给 BS2，之后 BS2 在信道 B 和 C 上发送。过了一会儿，BS2 不再使用信道 B，但该信道由 BS3 请求，BS3 可使用该信道进行发送。在这个例子中，使用了频率和时间上的正交信道，且所有 BS 都运行在正常工作模式。

共存信标协议

共存信标协议（CBP）是这样一个协议，它支持 IEEE 802.22 蜂窝间的自-共存。在自-共存模式中，两个或多个 IEEE 802.22 蜂窝使用相同信道。共存信标协议（CBP）是基于 CBP 分组传输的一种尽力而为协议，这种分组为自-共存处理而携带与邻接和重叠 IEEE 802.22 蜂窝有关的关键信息。

当一个 WRAN 检测并解码一个超帧控制头（SCH）或来自一个邻接 WRAN 蜂窝的一次共存信标协议（CBP）突发时，运行在正常工作模式的这个 WRAN 转换到自-共存模式。在上行链路 MAC 帧结束时，CBP 突发是在自-共存窗口（SCW）中发送的。一条 CBP 分组的源可以是一个 BS 或一个 CPE；CBP 分组也可以是在封装于一条 IP 分组的回传上发送的。图 4.31 给出在 SCW 中 CBP 分组发送和接收的一个例子。

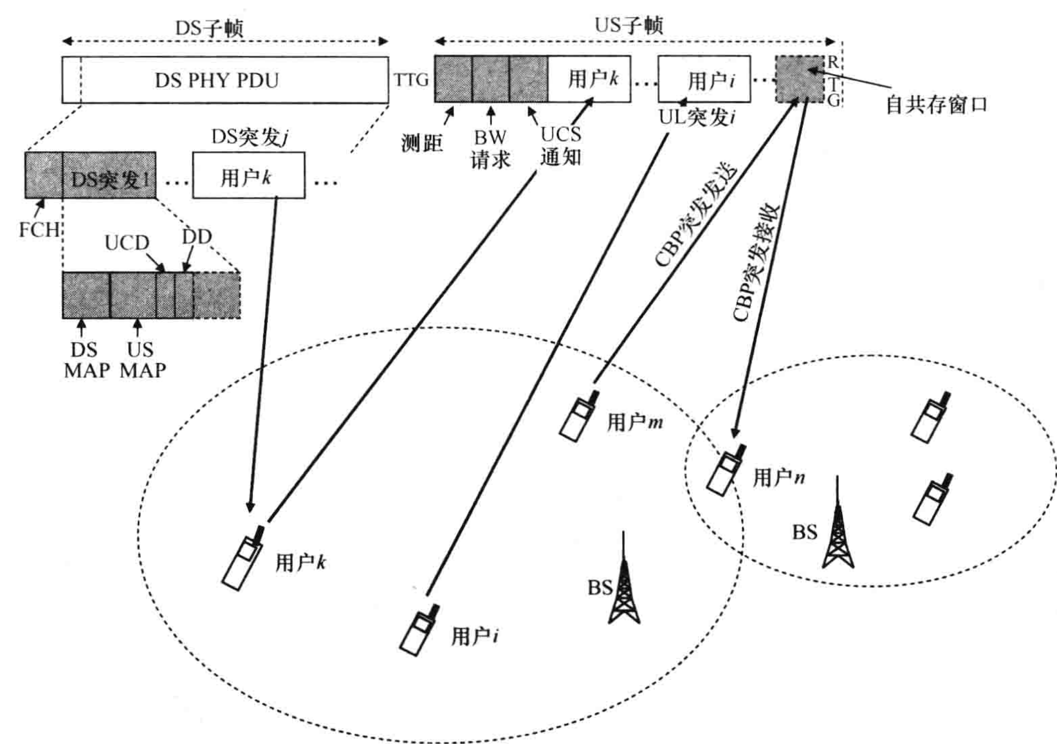


图 4.31　在自-共存窗口上一次 CBP 突发传输的例子

一条 CBP 分组的结构，如图 4.32 所示，它是一个 CBP 物理数据单元（PDU）。CBP 突发开始于一个前导，后跟一个 CBP MAC PDU。CBP MAC PDU 包括一个超帧控制头（SCH）字段，它包含在 SCH 中发送的网元（CPE 或 BS）的 MAC 地址。SCH 也将静默时段（QP）的调度和自-共存窗口（SCW）通告到其他邻接蜂窝中的各 CPE。SCH 后跟帧号和一个头检验序列（HCS）。

如果邻接蜂窝工作在不同 TV 频道上，则 SCH 的接收由其他 WRAN 用来以带外感知方式发现静默时段（QP）。如果邻接蜂窝工作在相同 TV 频道或在邻接频道上，则使用 SCH 调度各 QP 和 SCW。CBP 突发也包含其他信息单元（IE），用于一种共存情况下的频谱管理、帧管理、地理位置和 CBP 帧安全。

频谱成规

当存在足够的可用信道并允许不同工作信道和首选备份信道的选择时，频谱成

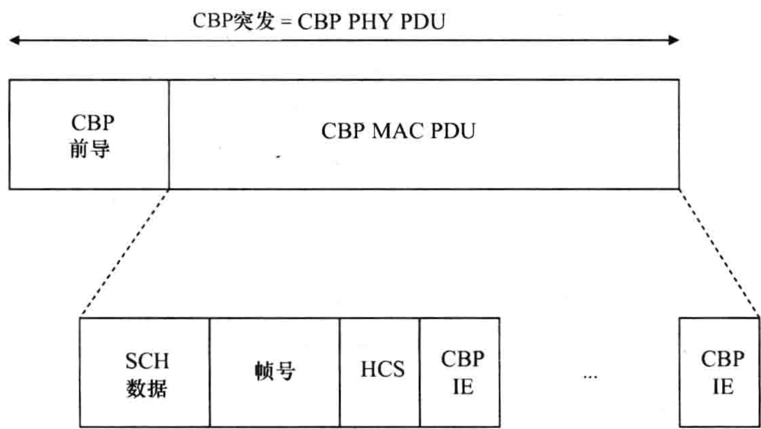


图 4.32　CBP 分组结构

规发挥作用。通过在 WRAN 蜂窝间使用 CBP 分组，交换每个蜂窝的有关工作、备份和候选信道的信息。一个信道选择决策的频谱成规过程之流图如图 4.33 所示。

由如下事件触发频谱成规：

- 现有使用者发现；
- 邻居 WRAN 蜂窝发现或更新；
- 工作信道切换要求（即由于干扰导致的）；
- 从邻居 WRAN 蜂窝接收到的冲突请求。

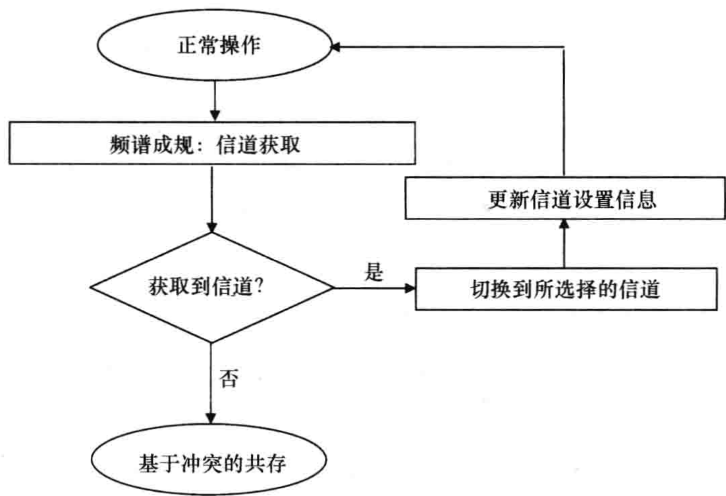


图 4.33　频谱成规过程的流图

频谱成规过程的一个例子的形象展示如下[12]。BS1 的中心蜂窝有 6 个邻居蜂窝（BS2…BS7）。在每个蜂窝中，工作频道是黑体的，备份频道是带下划线的，其他的为候选信道。例如，中心蜂窝工作在信道 1，有信道 2 作为备份，信道 7 是候选。在某个时间，BS1 在其工作信道上发现一个现有者的发送，触发频谱成规过

程，更换工作信道和备份信道。候选信道 7 成为工作信道，频道 5 成为一个备份信道。BS1 向邻居蜂窝和其他 BS 发送信道设置更新信息，启动频谱成规规程。图 4. 34给出这个频谱成规规程。

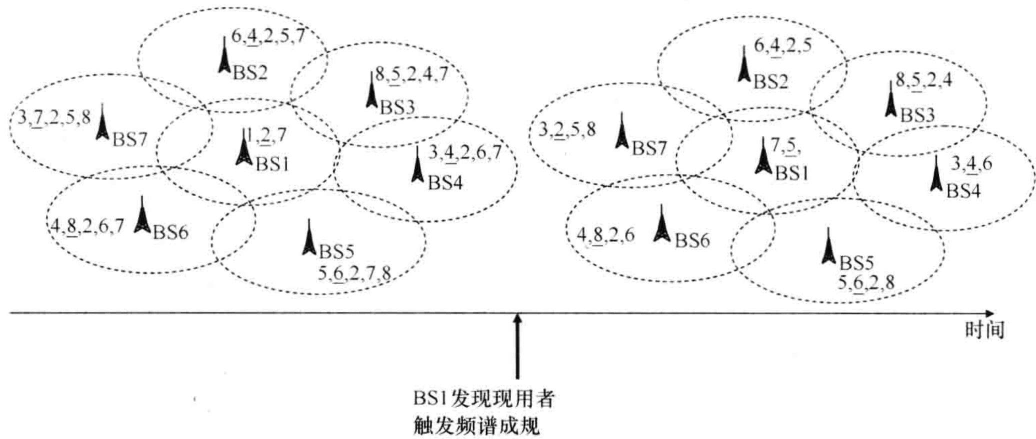


图 4. 34 频谱成规过程的例子

如果在 BS1 的信道 7 上出现另一个现有者，则信道 5 被提升为工作信道，BS1 启动与 BS5 的基于冲突的自-共存过程，BS5 也工作在信道 5 上。图 4. 35 给出带有基于冲突的自-共存触发的情形。

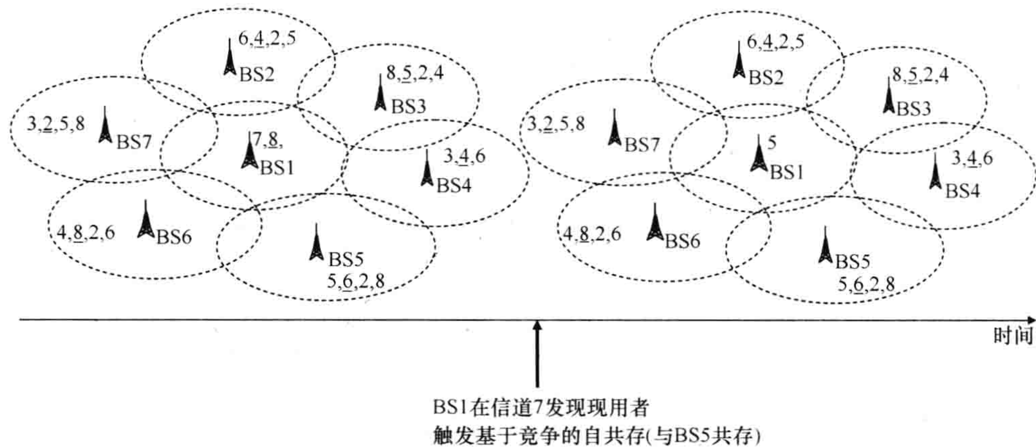


图 4. 35 基于冲突的自-共存触发的例子

应需帧冲突（ODFC）

当触发基于冲突的自-共存时，应需帧冲突（ODFC）协议被用来解决邻接基站间帧资源的冲突。处于自-共存模式的一个 BS 将调度一个或多个自-共存窗口（SCW），监测来自使用相同信道的多个 WRAN 蜂窝的潜在帧请求。重叠的 WRAN 蜂窝也可调度其他 SCW，并可能与原 WRAN 蜂窝使用的帧发生冲突，方法是通过

在这些 SCW 中的 CBP 突发发送控制消息。

工作在相同信道上处于自-共存模式的各 WRAN，每个均可保留其自己的 SCW，或可能在相同 SCW 上竞争 CBP 突发发送。在第一种情形中，CBP 突发发送是无冲突的；在第二种情形中，总的额外负担得以降低。但是，各 BS 可动态地改变 SCW 调度，以便适应自-共存的紧急状态。

一旦从 BS 或从其关联的 CPE 的 CBP 突发被解码，则应用应需帧冲突（ODFC）协议确定后续帧和超帧分发必须如何改变才能适应自-共存 BS 的紧急状态。ODFC 的控制消息是由 CBP 信息单元携带的。ODFC 协议的消息流如图 4.36 所示。

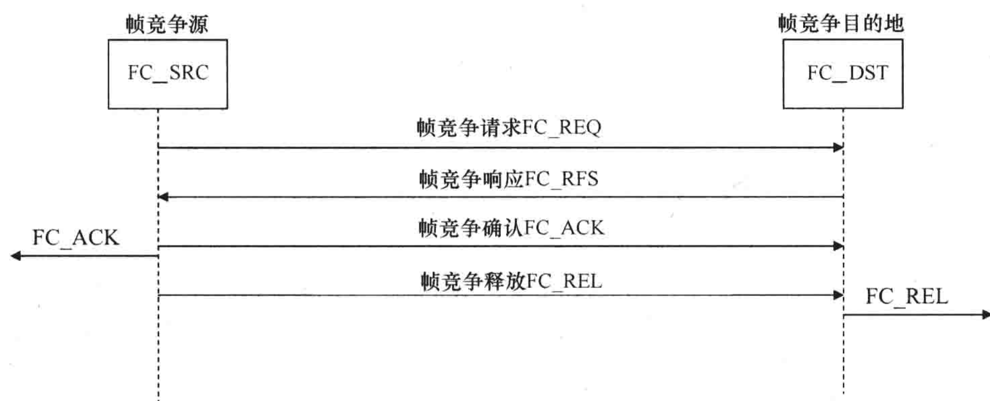


图 4.36 ODFC 协议的消息流

在图 4.36 中，帧竞争源（SC_SRC）发送一条帧竞争请求（FC_REQ）消息（携带帧竞争目的地 BS 的 MAC 地址），一个随机数（帧竞争数 N_c）（指明在那条信道上帧竞争的优先级）和一个超帧（竞争源请求获得该超帧）内各帧的列表。

帧竞争目的地（FC_DST）以一条响应消息（FD_RES）应答请求，该消息中包含源标识符和被授权帧的列表。FC_RES 也携带帧释放时间信息，它对超帧的数量进行编码，在该数量之后，信道将由 FC_DST 释放。在确认中（FC_ACK），携带帧的列表，源是通过帧竞争算法赢取的这些帧，从下一个超帧开始它将使用这些帧。最后，释放消息（FC_REL）将各帧（将被释放）的列表通知给获胜的 FC_SRC。图 4.37 和图 4.38 给出在竞争源和竞争目的地成功的两种情形中 ODFC 消息的两个例子。

在图 4.37 的例子中，BS1 是竞争源，BS2 是竞争目的地。BS1 和 BS2 随机地选择竞争数 N_{c1} 和 N_{c2}。BS1 发送针对帧 F1 的一条竞争请求。BS2 在验证 N_{c1} 大于 N_{c2} 之后，授权在时间 T 过程中使用帧 F1。在被授权的时间，BS1 确认帧 F1 的占用状态。

在图 4.38 的例子中，BS1 是竞争源，BS2 是竞争目的地。BS1 和 BS2 随机地

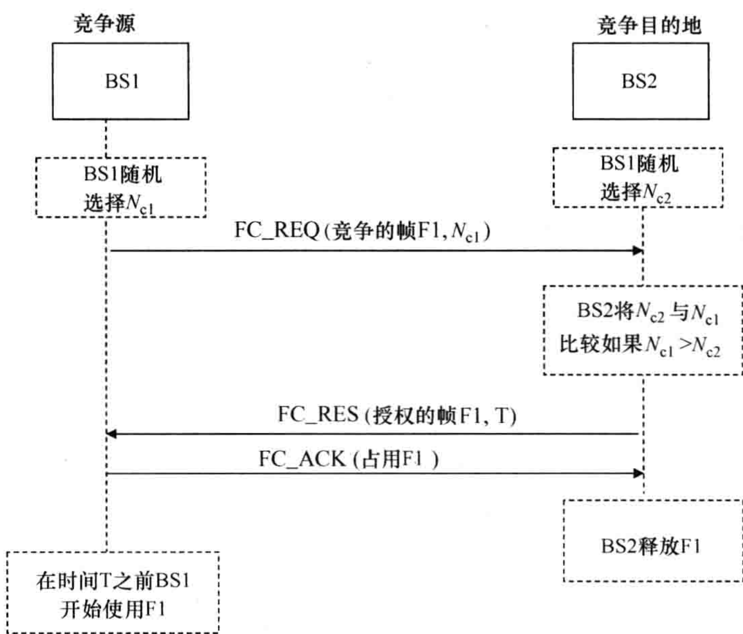


图 4.37　在竞争源成功的情形中 ODFC 消息交换的例子

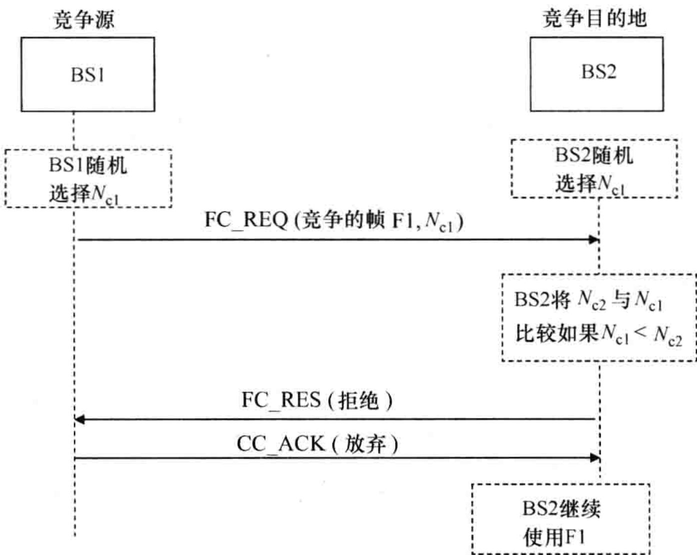


图 4.38　在竞争目的地成功的情形中 ODFC 消息交换的例子

选择竞争数 N_{c1} 和 N_{c2}。BS1 发送针对帧 F1 的一条竞争请求。BS2 在验证 N_{c1} 小于 N_{c2} 之后，拒绝帧 F1 在时间 T 期间的使用。BS1 放弃帧 F1，而 BS2 继续使用 F1。

应需帧竞争协议的顶层规程如图 4.39 所示。每个 BS 执行 ODFC 规程，如果它接收到针对新帧的一条内部或外部请求的话。

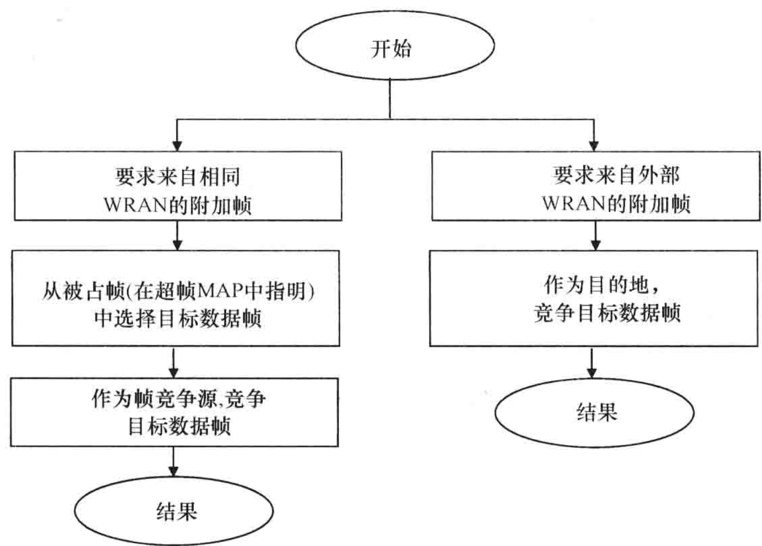


图 4.39　应需帧竞争协议的顶层规程

4.3　IEEE 802.22.1

2010 年 IEEE 发布了 802.22.1 标准，目标是为工作于 TV 广播频带中的低功率有许可证设备增强有害干扰的保护措施[19]。

在 TV 频带中留下的频谱洞，称作“白空间”，可被用于新的无许可证无线服务的部署。无许可证设备工作在 TV 频谱的未用部分，不会对现有使用者的发送产生干扰。在这些发送中包括低功率有许可证设备，像由广播公司（broadcasters）运作的无线麦克风。

IEEE 802.22.1 标准描述信标设备的空中接口，其目标是保护低功率有许可证设备（像麦克风）。信标包含同步突发，以及作为可选的附加信息，被保护设备的位置和工作参数。信标应该由有许可证设备的运营商来安装；无许可证系统包括一个 IEEE 802.22.1 接收器（能够解码信标），并使用这种信息，目的是确保对有许可证系统的干扰保护。

带信标网络的主要单元是保护设备（PD），它可以是一个主保护设备（PPD）或一个辅助保护（SPD）。PPD 是这样一台设备，它周期性地发送信标，以便保护其相应的有许可证设备。SPD 使用信标与一台 PPD 一起发送，并在有许可证设备保护中协助 PPD。接下来的（next-in-line）保护设备（NPD）是一个 SPD，如果现有 PPD 停止发出信标，则它成为一台 PPD。

在初始化过程中，一台 PD 监测其 TV 信道，以便确定是否存在一台 PPD 在发送信标。如果没有找到一台 PPD，那么 PD 作为一台 PPD，并周期性地发送信标。

如果找到一台或多台 PPD，则该 PD 可作为一台 PPD，并开始信标发送，或它作为一台 SPD，并联系一台 PPD。PPD 选择一台 SPD 成为一台 NPD。所描述的初始化规程如图 4.40 所示。

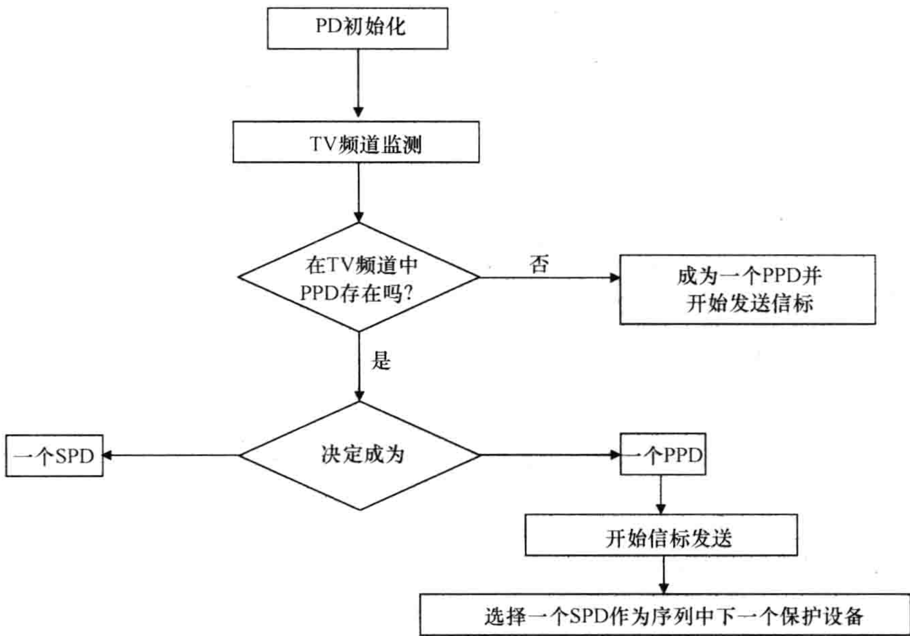


图 4.40 保护设备初始化

PPD 使用一种 alopha 访问机制以广播方式发送信标，带有有关有许可证设备的信息，像位置和 TV 信道占用情况的估计时长。信标接收不会从各 SPD 得到确认。

各 SPD 也可将信息发送到各 PPD。在这种情形中，通信开始时是一条请求发送（RTS）消息。如果 PPD 接收到 RTS，并发送一条 ACK，则它悬停信标发送，且 SPD 发送一个信标。如果 PPD 以一条 NACK 回答 SPD 信标，则 PPD 恢复其信标帧的正常发送。PPD 和 SPD 的通信如图 4.41 和图 4.42 所示。

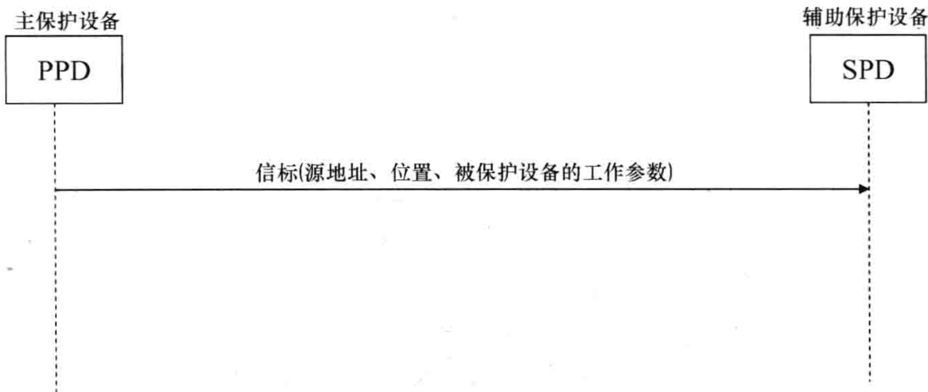


图 4.41 PPD 发送信标

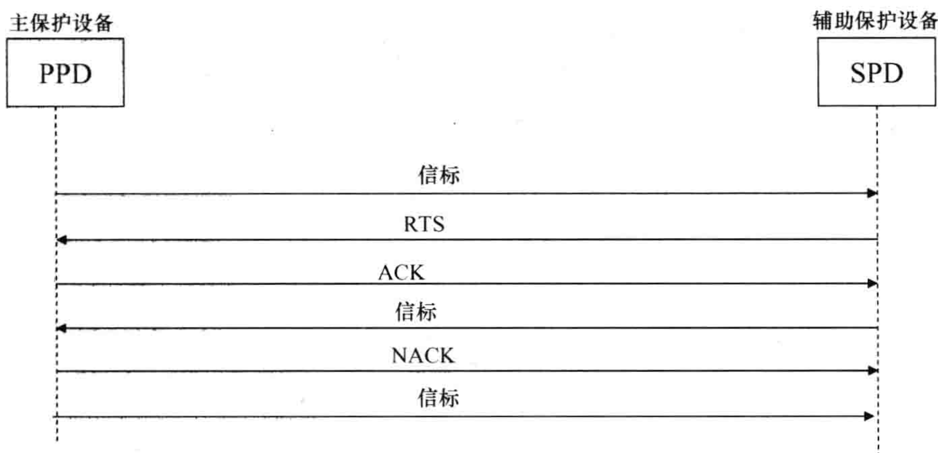


图 4. 42 SPD 与 PPD 通信

参 考 文 献

1. Yücek, T. and Arslan, H. (2009) A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, **11** (1), 116–130.
2. Spectrum Sensing, End to End Efficiency (E3) White Paper, November 2009.
3. Chouinard, G. (2011) The IEEE 802.22 WRAN Standard and Its Interface to the White Space Database, IETF PAWS Working Group Meeting, Québec City, 26 July 2011.
4. Federal Communications Commission (2008) In the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands: Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order. Technical Report 08-260, November 2008.
5. Mlinarsky, F. (2011) The Role of White Spaces in the Realm of Wireless Broadband, 8 June 2011, Octoscope Inc.
6. Federal Communications Commission (2010) In the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands: Second Memorandum Opinion and Order. 23 September 2010.
7. Federal Communications Commission (2012) In the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 MHz and in the 3 GHz Band: Third Memorandum Opinion and Order, 5 April 2012.
8. ECC (2011) Technical and Operational Requirements for the Possible Operation of Cognitive Radio Systems in the 'White Spaces' of Frequency Band 470–790 MHz, Report 159, January 2011.
9. ECC (2013) Futher Definition of Technical and Operational Requirements for the Operation of White Space Devices in the Band 470–790 MHz, Report 185, Complementary Report to ECC Report 159, January 2013.
10. ECC (2013) Technical and Operational Requirements for the Operation of White Space Devices under Geo-location Approach, Report 186, January 2013.
11. Meeting Document, Combination of Geo-location Database and Spectrum Sensing Techniques. 9th Meeting of SE43, Copenhagen, 14–15 April 2011.
12. IEEE P802.22-2011 Standard (2011) *Wireless Regional Area Networks*, Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands, July 2011.
13. 22-10-0073-03-0000, IEEE 802.22 Wireless Regional Area Networks.
14. Stevenson, C.R., Chouinard, G., Lei, Z., Hu, W., Shellhammer, S.J. and Calwell, W. (2009) IEEE 802.22: The First Cognitive Radio Wireless Regional Area Network Standard. *IEEE Communication Magazine*, January 2009, 130–138.
15. Rose, M. and McCloghrie, K. (1990) Structure and Identification of Management Information for TCP/IP-based Internets. *RFC* **1155**, May 1990.

16. Rose, M. and McCloghrie, K. (1991) Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based Internets: MIB-I. *RFC* **1213**, March 1991.
17. Case, J., Fedor, M., Schoffstall, M. and Davin, J. (1990) A Simple Network Management Protocol (SNMP). RFC 1157, May 1990.
18. 22-10-0121-02-0000, IEEE 802.22 Coexistence Aspects.
19. IEEE Standard for Information Technology (2010) *Telecommunications and Information Exchange between Systems, Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements*, Part 22.1: Standard to Enhance Harmful Interference Protection for Low-Power Licensed Devices Operating in TV Broadcast Bands, 1 November 2010.

第5章　ETSI有关可重构无线电系统的标准

5.1　引言

最近些年来，接入网络演进到这样的场景，其中单个基于IP的骨干向多个接入网络（固定网和无线网）提供传输服务。运营商不得不管理多种无线电接入技术（RAT），经常采取“手工配置”无线电参数的方法。最近，为优化网络利用率，在多-RAT网络中引入了一些通用无线电资源管理（Common Radio Resource Management，CRRM）功能特征。

通用无线电资源管理（CRRM）处理独特的无线电资源管理（RRM），采用不同蜂窝层（宏、微、微微等层级），它控制不同无线电接入技术，例如900MHz和1800MHz的GSM、2.1GHz的UMTS以及LTE。一般而言，为优化网络性能，取决于终端能力、用户概要和蜂窝负载，一个CRRM工具选择优化层。

但是，CRRM通过参数的静态配置来管理一个多-RAT接入网络。采用自组织网络（SON）、软件定义无线电（SDR）和认知无线电（CR），CRRM的演进将更多智能添加到接入网络。认知无线电终端和网络的发展将在无线电接入网络中引入新的场景。

在世界范围，正在进行着无线电移动频谱的重新规划（refarming）过程。在不久的将来，无线电移动频率将不严格地与一项技术相关联，而是它们将被使用的方式取决于用户概要、服务概要、流量请求和网络优化。

采用频谱感知认知无线电终端和网络，频谱使用将在不同无线电接入技术间进行优化。针对适配和网络优化，考虑到可由一个无线节点或网络观察到的每个可能参数，全认知无线电在网络侧和终端侧都正朝着可重构无线电系统（RRS）方向演进[1,2]。

在ETSI的RRS技术委员会（TC）中完成了可重新配置无线电系统（RRS）的标准化，它有如下四个工作组（WG）：

- RRS 01 系统功能特征；
- RRS 02 无线电设备架构；
- RRS 03 功能架构和认知引导信道；
- RRS 04 公共安全。

图5.1给出ETSI技术委员会结构。

本章描述ETSI的可重构无线电系统（RRS）的建议。



图 5.1 ETSI 技术委员会结构

5.2 ETSI 可重构无线电系统

2009 年 ETSI 开始发布有关 RRS 的技术报告，包括 RRS 的一个功能架构[3]。ETSI RRS 功能架构建议单运营商和多运营商场景，针对动态频谱管理、动态自组织网络规划和管理、联合无线电资源管理和配置控制（CC）提出新的实体。新实体通过标准接口与其无线电终端中的相应系统进行双向通信。此外，ETSI RRS 功能架构针对无线电语境（即频率、工作 RAT 等）的管理提出引入一个认知引导信道（CPC）[4]。所考虑的场景是针对异构接入网络的，它们与一个独特的基于分组的核心网络连接，如图 5.2 所示。

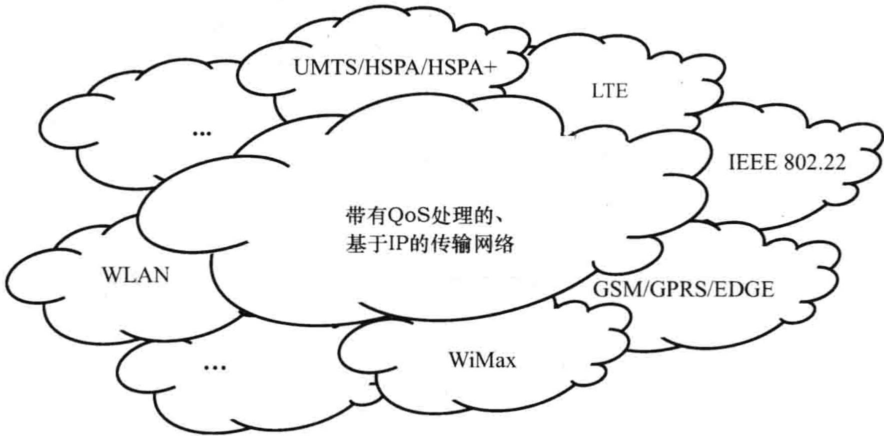


图 5.2 异构接入网络场景

无线电接入网络（RAN）采用不同频率的各种技术以及宏、微和微微蜂窝等多种覆盖方式工作的。它们可与许多类型的终端、基站（BS）和接入点（AP）一起工作。终端可以是一种遗留的、多标准的认知无线电；基站可以是一个遗留的认知无线电，是可重新配置的；接入点一般是遗留的 AP。各终端可通过一条有向无

线电链路（对等设备）或到一台 BS 的一条连接进行通信，可支持多条连接，并可作为到其他终端的中继进行工作。基站实现无线电覆盖，与终端进行发送，如有必要，可作为其他 BS 的一个无线中继进行工作。

图 5.3 给出一个异构无线网络场景的一个例子。

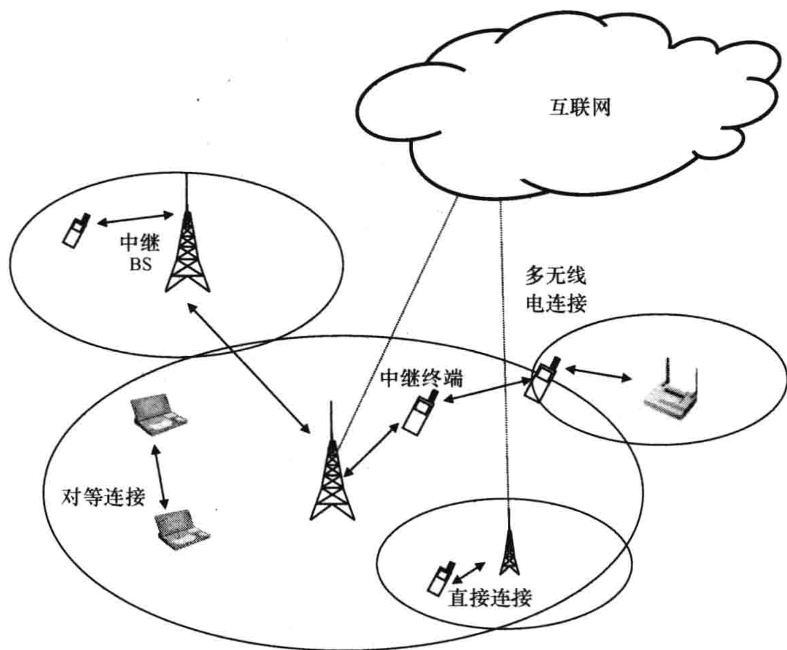


图 5.3　一个异构无线网络场景的例子

在所考虑的场景中，无线电接入网络可属于相同运营商或不同运营商，并可与相同传输网络或不同传输网络相关联[3]。无线接入网络的一些节点能够重新配置它们的无线电参数，它们的管理是由本章所描述的功能架构（FA）进行处理的。无线电频率也可是动态管理的，对频谱使用和所允许的最大功率，采用特定的规则。FA 甚至支持频谱共享、频谱租赁以及主辅频谱使用。

为了优化网络和频谱的使用，FA 将与一个给定位置和时间可访问哪些无线电的管理信息发送给终端。FA 从终端接收与被检测 RAN、终端能力等有关的管理信息。为了得到有关 BS 能力的信息并管理可重新配置 BS 的无线电参数，FA 也与底层 RAN 进行双向通信。在文献［5］中描述了可重新配置无线电基站（RBS）实现特征，并包括基本的和可重新配置的 RBS 架构，这在下一节摘要描述。

5.2.1　可重构无线电基站架构

在网络中存在可重构的节点，将赋予运营商管理无线电资源的可能性，目的是优化网络和频谱利用率。在一个成熟的网络部署场景中，各 RBS 也将被提供自建立和自优化功能。

一个可重新配置 RBS 具有如下基本要求[5]：

• 多标准：RBS 实现一个以上的标准无线电接入技术（RAT），即 GSM/GPRS/EDGE、UMTS/HSPA/HSPA + 和 LTE/LTE 高级版本。不同 RAT 是作为软件应用加以实现的。

• 自建立能力：当打开时，RBS 确定初始无线电配置。它设置输出功率、覆盖的电子倾角，配置物理资源和映射逻辑信道，产生蜂窝标识符（cell-Id），从一个外部数据库下载邻居列表，并为拥塞控制和接纳控制、切换阈值等设置无线电参数。它也与核心网元建立连接。

• 频谱灵活性：RBS 也可在不同频率上与不同 RAT 一起工作，频率可以是动态改变的。例如，因为频谱重新规划，一些 LTE 承载商可能从 2600MHz 迁移到 1800MHz，一些 UMTS 承载商可能从 2100MHz 迁移到 900MHz。

• 频谱交易：RBS 能够（如果频谱管理规则允许的话）改变频谱的使用，同时维护使用的权利。例如，通过将使用相同 RBS 频率的许可赋予二级用户的可能性，可支持二级市场。

• 自-优化能力：RBS 连续地实施覆盖和容量优化、邻居列表更新、切换优化、干扰控制、能量节省等。

为了快速地执行所接收的重新配置命令，并发送有关流量测量、网络配置等的报告，可重构无线电基站将能够通过标准接口与网络管理系统通信。可重新配置 RBS 架构是从基本 RBS 架构演进而来的，由功能块构成，如图 5.4 所示[5,6]。

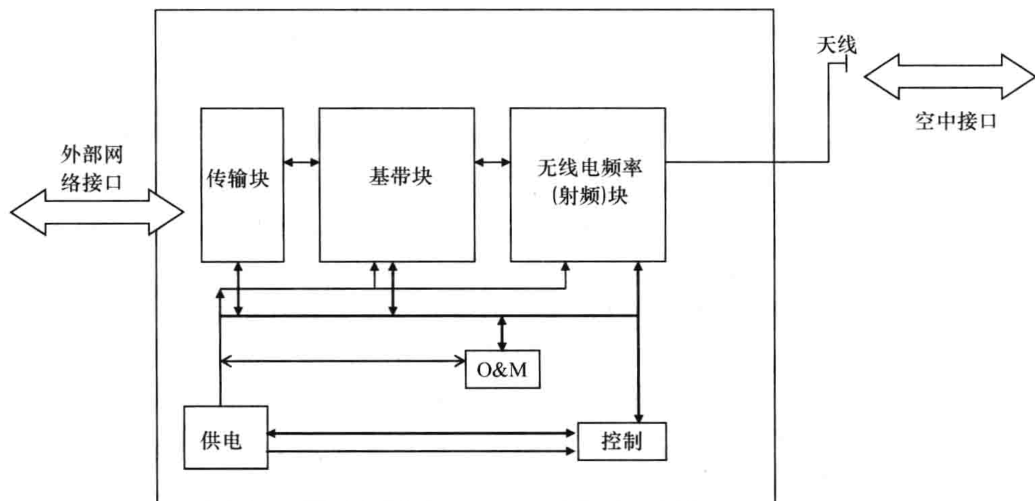


图 5.4 基本 RBS 架构

一个块代表一个功能集合的逻辑分组，并可分成一个或多个模块，每个模块实现功能的一个子集。功能块通过内部接口通信；其中一些功能块通过外部接口（像网络接口或空中接口）传输数据和发送信令。

外部网络接口支持 RBS 与其他接入网络节点的通信，像 GSM/GPRS/EDGE 中的基站控制器（BSC）采用 Abis 接口，UMTS/HSPA/HSPA + 中的无线电网络控制器（RNC）采用 IuB 接口，以及 LTE 中的演进节点 B（eNB）采用 X2 接口。空中接口允许 RBS 与用户设备（UE）采用标准无线电接口（即 UMTS- Uu、LTE- Uu）进行通信。内部接口在控制和时钟块与其他 RBS 块之间交换控制、状态和告警。

基本 RBS 架构块有[5,6]：

- 传输块（TB）：实现与接入网络节点的连接。TB 在网络接口和其他 RBS 功能块间传递用户平面、控制平面和管理平面信息。
- 控制块（CB）：是管理 RBS 的配置和无线电资源的块。
- O&M 块：实施 RBS 操作和维护，并与网络管理系统（NMS）或单元管理系统（EMS）交互。
- 基带块（BB）：实施发送链的基带处理，像信道编码、交织、速率匹配、MIMO 预编码等。可采用一个以上的模块加以实现，每个模块实施标准发送链（即 GSM、UMTS、LTE、WiMAX 等）的基带处理。
- 无线电频率块（RFB）：是连接到天线的块，它处理无线电频率功能，像上/下变换、载波选择、功率放大、发送和接收多样性等。

可重构 RBS 架构是从基本 RBS 架构演进而来的。在一个可重构 RBS 中，向与无线电资源（像频谱、天线、功率和软件（SW））联合管理有关的多项功能添加控制块，并向 RBS 多- RAT 控制添加控制块，目的是全局优化。可重构 RBS 架构如图 5.5 所示。

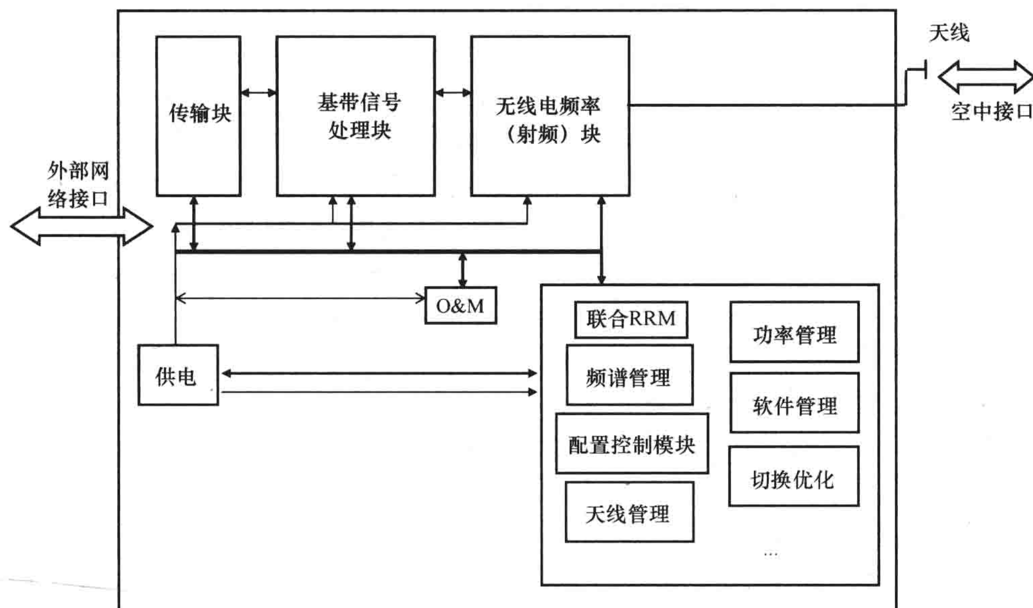


图 5.5　可重构 RBS 架构

在图中，可重构的 RBS 的控制模块包括如下各块：

• 功率管理：定义每项无线电接入技术、每个蜂窝、每个扇区、每个天线的最大允许功率。与固定功率限制的方法不同，功率管理块实施能量效率法。采用能量效率法，就有可能自适应地关闭因为实际流量而没有使用的资源，或将之置于闲置模式，由此就节省能量和资金。

• 软件管理：这个块负责 RBS 软件下载和安装、软件激活/去活等。

• 频谱管理：为针对主用途和二级用途而优化所指派频率的使用，该块规范无线电频率的使用。

• 配置控制模块：控制每项无线电接入技术配置参数的改变。它也通过重新配置动作，来管理和解决故障。

• 切换优化：这项功能的目标是最小化切换失效、最小化不必要的切换和增加负载均衡能力。它涉及频率内、频率间和 RAT 间切换。

• 天线管理：本块控制天线参数，像增益、辐射模式、极化、MIMO 配置等。

• 联合无线电资源管理（JRRM）：通过接纳控制、调度和其他控制（即蜂窝负载、蜂窝能力等）任务的联合优化，本块管理和控制每项无线电接入技术的无线电资源。

可重新配置 RBS 的一些功能可与其他功能组合使用。例如，软件管理、功率管理和切换优化可被包括在 JRRM 实体中。

5.2.1.1 一个可重构无线电基站的用例

为所提案例考虑的场景是由相同运营商管理的一个异构无线电接入网络。在这个场景中的各 RBS 支持实现为软件应用的不同 RAT，这些软件应用也可在运行过程中安装和卸载。频谱共享功能支持频谱资源在无线电接入技术间动态地分布，目标是取得无线电资源优化。

在给定场景中涉及的实体有：终端设备（Terminal Equipment，TE）、无线电基站（Radio Bace Station，RBS）、联合无线电资源管理（Joint Radio Resource Management，JRRM）实体和配置控制模块（Configuration Control Module，CCM）。各 RBS 是可重构的节点，装备有在不同 RAT 间共享的硬件处理资源（Hardware Processing Resource，HPR）。每项 RAT 是一项无线电应用，所使用的一些量的 HPR，这取决于无线电参数的配置、正在进行的流量总量等。HPR 被连接到无线电频率（RF）块，该块连接到天线，并能够同时支持不同 RAT。JRRM 实体联合地处理 RAT 无线电资源、实施无线电载波控制、无线电接纳控制，上行链路/下行链路的资源调度，负载均衡等。配置控制模块具有评估可能 RBS 重构的任务。在所述用例中，RBS、JRRM 和 CCM 是三个不同实体。

第一个所提到的场景是系统内无线电资源重构，它有属于相同运营商的可重新配置 RBS，其中指派给 RAT1 的频谱依据流量需要而改变（频谱共享）。图 5.6 给出与系统间无线电资源重新配置情形有关的高级信息流。

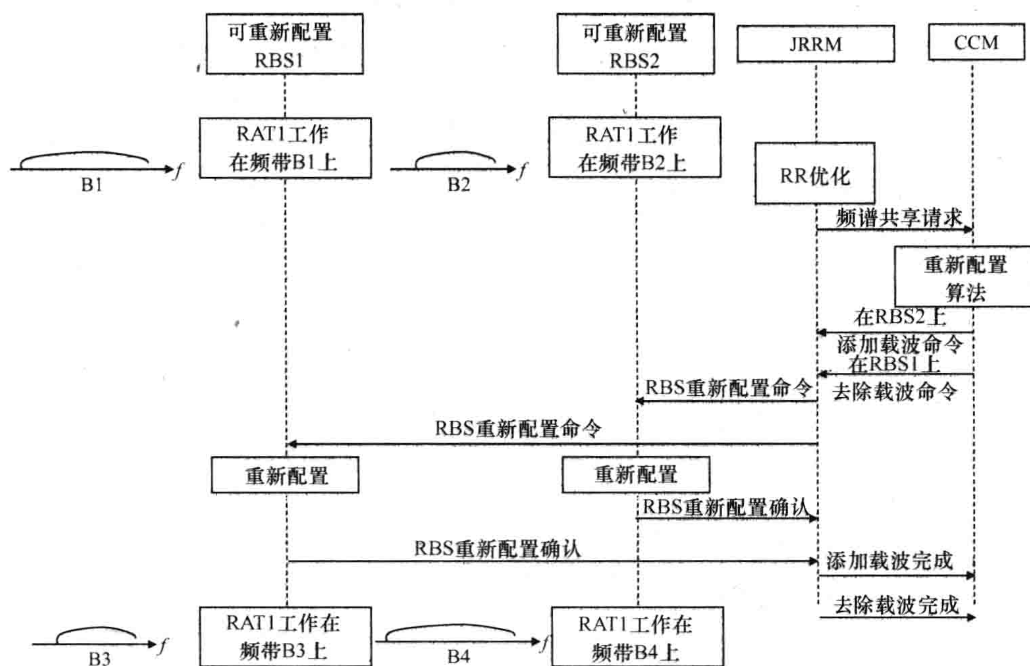


图 5.6　系统内无线电资源重新配置用例的高级信息流

在图中，RBS1 的 RAT1（即 UMTS）正在使用频带 B1（即 5MHz 的两个载波）；RBS2 的 RAT1（即 UMTS）正在使用频带 B2（即 5MHz 的一个载波）。JRRM 实体的无线电资源优化函数确定两个 RBS 之间的频谱共享是需要的，且 CCM 的重新配置算法确定一个载波必须添加到 RBS2，且从 RBS1 去除一个载波。将 RBS 重新配置命令发送到 RBS1 和 RBS2，且在两台基站之间成功地重新指派了频谱。如果向网络提供一个认知引导信道（CPC），则采用新的语境信息加以更新（即 RBS1 和 RBS2 之间的频谱重新安排）。图 5.7 给出在相同 RBS 的不同 RAT 之间灵活频谱分配的用例。

在图中，可重构无线电基站（RBS）在带宽 B1 中运行 RAT1（即 UMTS），同时在带宽 B2（即 GSM）中运行 RAT2。RRM 实体的无线电优化函数决定在 RAT1 和 RAT2 之间重新分配频谱。CCM 重新配置算法确定必须向 RAT2 添加一个或多个载波，且必须从 RAT1 去除一个载波。将一条 RBS 重新配置命令发送到 RBS1，且频谱成功地在这两项无线电接入技术之间重新指派。如果向网络提供一个认知引导信道（CPC），则采用新的语境信息加以更新。

所考虑的第三个用例是 RBS 无线电软件升级，例如升级一个现有的 RAT（即将 HSPA + 添加到 HSPA）或安装一个新的 RAT。从一个软件数据库下载软件，该数据库由一个实体拥有，该实体可以是运营商、制造商或一个无线电应用提供商。软件数据库也可位于配置控制模块（CCM）之中。

在如图 5.8 所示的例子中，新功能部署决策来自配置控制模块，通过 JRRM 实

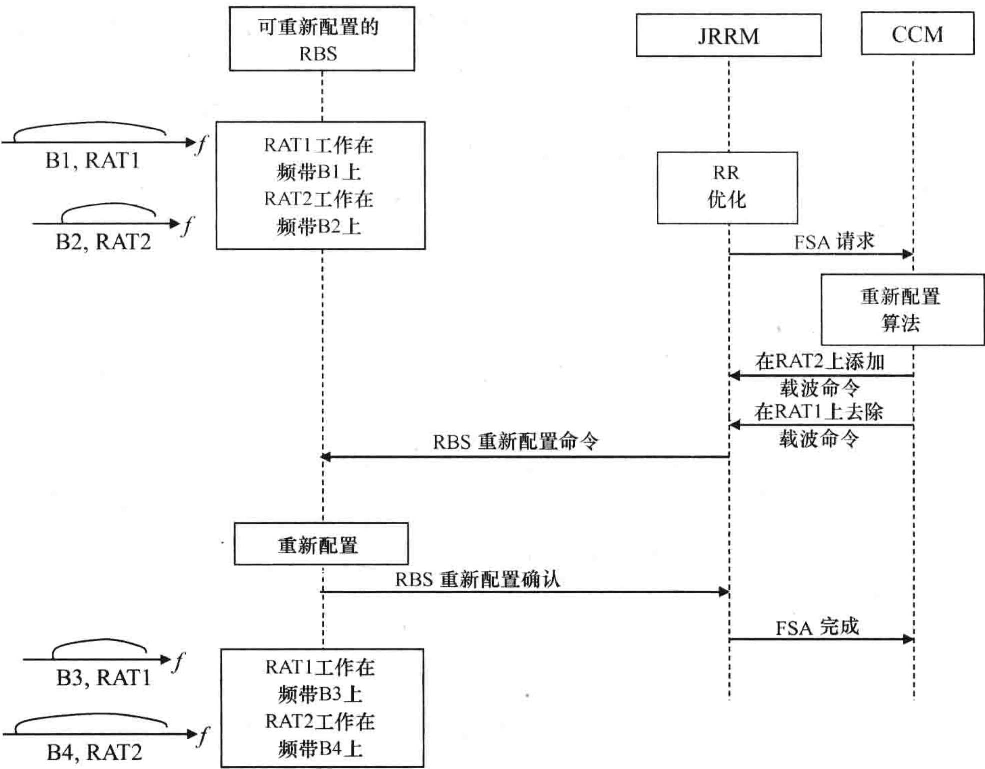


图 5.7　在相同 RBS 的不同 RAT 之间灵活频谱分配的高级信息流

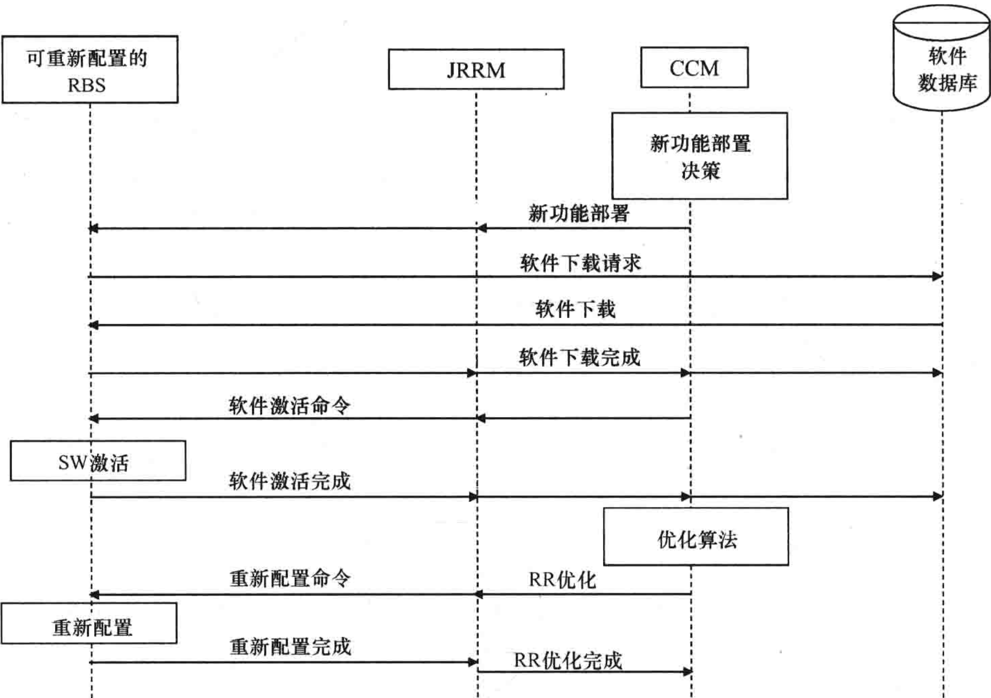


图 5.8　一个 RBS 无线电软件升级的高级信息流

体上传到 RBS。之后 RBS 请求将新软件下载到软件数据库。当完成软件下载时，CCM 命令 RBS 激活新软件功能。当新软件激活时，CCM 运行一个优化算法，这意味着一次 RBS 重新配置。如果新软件与一个现有 RAT 的升级有关，或如果一个新的 RAT 正在 RBS 中工作，则 RBS 重新配置将是不同的。如果向网络提供一个认知引导信道（CPC），则以新的语境信息（即新功能或在工作中的新 RAT，最终对所用频率进行更新）对之进行更新。

5.2.2　可重构无线电设备架构

在网络中存在可重构的多标准 RBS，带来了对多标准移动设备的需求，这些设备能够遵循网络参数重新配置和频谱利用率中的变化。

实现一台多标准移动设备的一种方法是设计多个无线电频率（RF）链，这些链连接到多个基带电路，如图 5.9 所示。对于每项无线电接入技术，存在连接到一个无线电频率块（RFB）的基带模块。基带模块以数字方式处理基带操作；RFB 实施上/下变换、调制/解调和滤波，并连接到天线或多个天线。在这种情形中，更新或增强设备是不可能的，唯一的机会是激活预配置的发送链。

实现一台多标准移动设备的另一种更高效解决方案是使用软件定义无线电（SDR）。通过使用软件，适配、更新和增强 SDR 设备，由此支持可重新配置无线电系统架构。通过可下载的、安装的和激活的不同软件无线电应用，一台 SDR 设备实现一种以上的标准无线电接入技术（RAT）。另外，通过执行不同的无线电软件应用，该设备能够在不同频率上同时执行多个无线电接口。

图 5.9 的方案向图 5.10 的方案演进，其中一个基带模块连接到一个软转发器

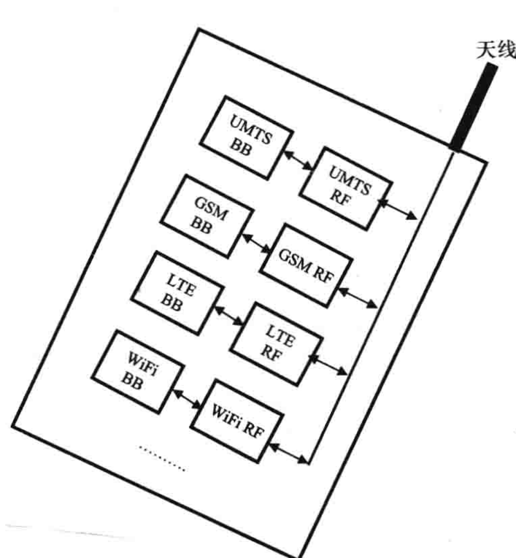


图 5.9　带有多个发送链的多标准移动设备

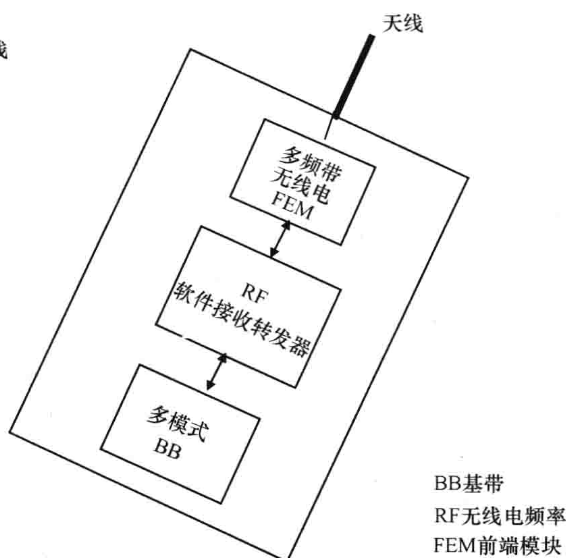


图 5.10　SDR 多标准移动设备

(实现数字上/下变换和调制/解调)。之后软转发器被连接到带有功率放大器和可调滤波器的多频带无线电前端模块(MBFEM)。MBFEM 被连接到天线。

ETSI 在文献［7］中为一台移动设备提出一种 SDR 参考架构，其中该设备是带有一个无线电操作系统（一个物理无线电计算平台）和无线电应用（实现多个 RAT）的一个无线电计算机。无线电计算机概念如图 5.11 所示。

无线电应用可以像在一台计算机中的任何其他软件一样进行安装、更新和增强。多任务无线电操作系统运行工作在相同或不同频率的多个无线电。除了无线电操作系统和无线电应用外，向无线电计算机提供实现如下阶段的一个物理平台：

• 天线，是辐射单元。无线电计算机可被提供带有多个窄带天线，这些天线工作于不同频带或一个带有调谐器（tuner）的宽带天线。图 5.11 给出带有调谐的一个宽带天线。

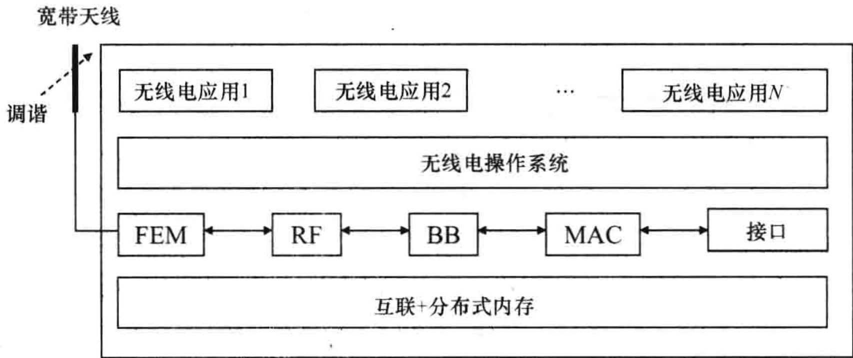


图 5.11 无线电计算机概念

• 前端模块（FEM）：包括滤波器、混频器（mixer）和功率放大器。

• 无线电频率（RF）模块，包含一个数字 RF 转发器。

• 基带模块：它以数字方式处理不同活跃的无线电接入技术之发送/接收链的所有基带功能。

• MAC：实施媒介访问控制。

• 接口：将物理平台接口到无线电应用。

多个无线电可同时运行在无线电计算机中，共享操作系统和物理平台，但对每种运行的技术具有调整无线电参数的可能性，这些参数如输出功率、调制和编码方案和工作频率信道。为一台移动设备提出的功能 SDR 架构[7,8]包括针对配置、管理和控制、统一的无线电应用的功能块以及功能块之间的标准接口。一台 SDR 设备的功能架构如图 5.12 所示。

架构中的功能块有[9]：

• 管理器（Administrator)：负责无线电应用安装和卸载；创建和删除无线电应用的实例；管理无线电应用实例的配置。

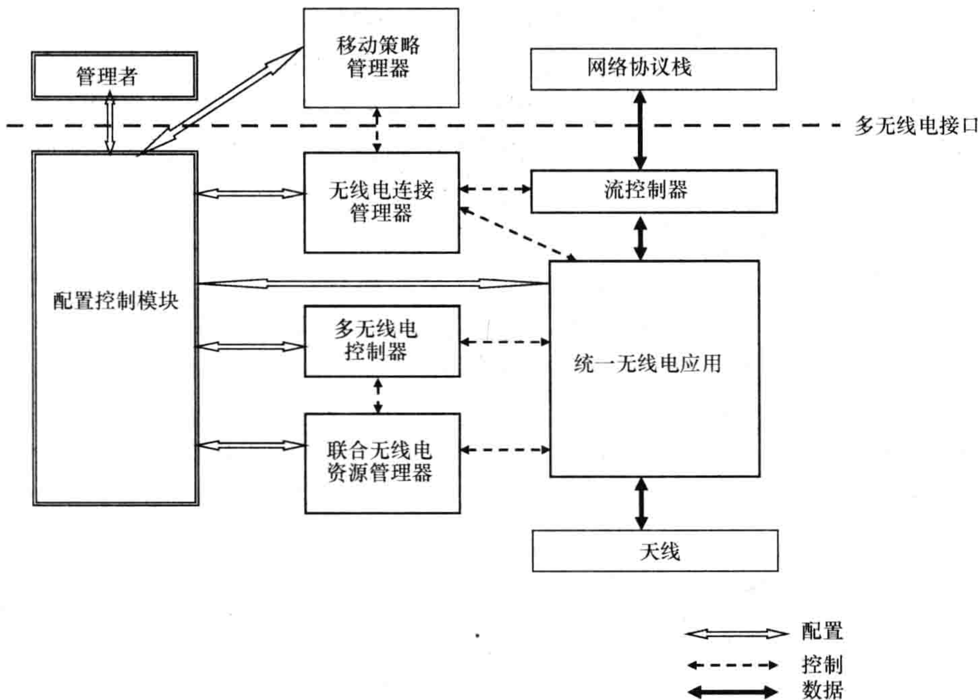


图 5.12　一台 SDR 设备的功能架构

- 移动性策略管理器：管理无线电应用实例的激活和去活，使移动终端能够从一个无线电接入技术切换到另一个无线电接入技术。
- 网络栈：为数据流的发送和接收，实施协议栈的各层。

在管理器、移动性策略管理器和网络栈之间的接口是多无线电接口。

无线电计算机架构包括如下功能块：

- 配置控制模块（CCM）：负责无线电计算机配置——安装、卸载以及无线电应用的载入和卸载。它为每项应用配置和管理无线电参数。
- 无线电连接管理器（RCM）：通过在一个或多个 RAT 上数据发送的激活或去活，它管理用户数据的无线电连接。
- 流控制器（FC）：控制用户平面数据。
- 多无线电控制器（MRC）：为防止干扰和冲突，它控制从不同工作无线电应用到达的对频谱资源的请求。
- 联合无线电资源管理器（JRRM）：管理和优化无线电计算机资源的使用，这些资源是在多项活跃的应用间共享的。

通过一个统一的无线电应用接口，无线电应用与所有其他无线电计算机功能块进行通信。

无线电计算机操作需要另外两个接口：

- 无线电编程接口，处在无线电软件实体和无线电计算机平台之间。
- 到 RF 数字转发器的接口。

可重构移动设备的所述功能架构基本上是一个软件定义无线电（SDR）架构[7]，由软件模块处理多-RAT 发送和接收。移动设备的 SDR 架构可被添加到认知功能[9]（CF），它构建于 SDR 子系统之上，并得到一个可重构的无线电设备（RRD）。可重构的无线电设备功能架构如图 5.13 所示。

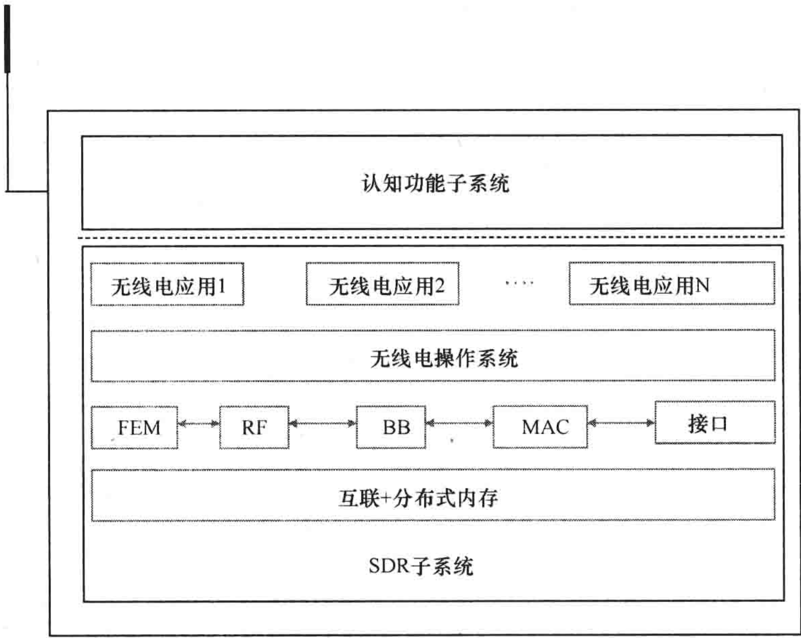


图 5.13 可重构无线电设备的功能架构

SDR 与认知功能的隔离支持有关子系统的独立开发。认知功能（CF）将实现为发现无线电和对等移动设备存在、接收语境信息、选择一项可用的无线电接入技术等所必要的智能。

可重构的无线电设备的功能架构，由一个无线电操作系统、一个物理无线电计算平台、无线电应用和认知模块，该架构意味着新的角色将出现在市场场景。此外，因为无线电应用可通过空中下载，所以负责空中（OTA）无线电应用提供的新实体将出现在新的市场场景。

新市场场景中的可能角色如图 5.14 所示。在图中，顾客是该图的中心。它使用一台可重新配置设备与移动和无线电接入网络通信，这些网络由一个或多个网络运营商管理。为支持这种场景，可能的新老角色有：网络运营商、手机制造商、网络基础设施制造商、无线电计算机平台提供商、无线电操作系统提供商、无线电应用提供商、无线电应用开发商、认知功能提供商等。标准化实体将保障可重构无线电设备的所有组成间以及可重构设备和无线电接入网络之间的兼容性和互操作性；业界实体将支持可重新配置无线电终端和网络的标准化、部署和促销[10,11]。

一台可重新配置无线电设备（RRD），当上电时，通过激活相应的无线电应用

而切换到其无线电接入技术上。通过认知引导信道或其他技术，RRD 使用无线电接口获取语境信息。不需要的无线电应用做去活处理。下一步，为交换数据，选择一个或多个可用的 RAT，与其他对等终端或无线电接入网络节点建立一个或多个关联。可由移动设备或由网络命令而实施 RAT 的选择；之后，应用的无线电参数可得以正确配置。在可重构无线电网络场景中，将一条数据流从一个关联迁移到另一个关联，甚至在不同无线电应用间迁移，也都是可能的。所述网络入口（entry）、关联和数据流发送的逻辑流如图 5.15 所示。

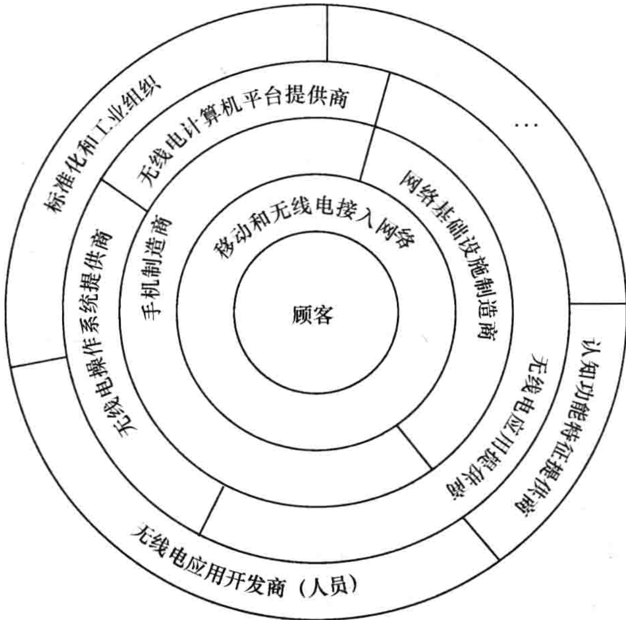


图 5.14 新市场场景中可能角色的例子

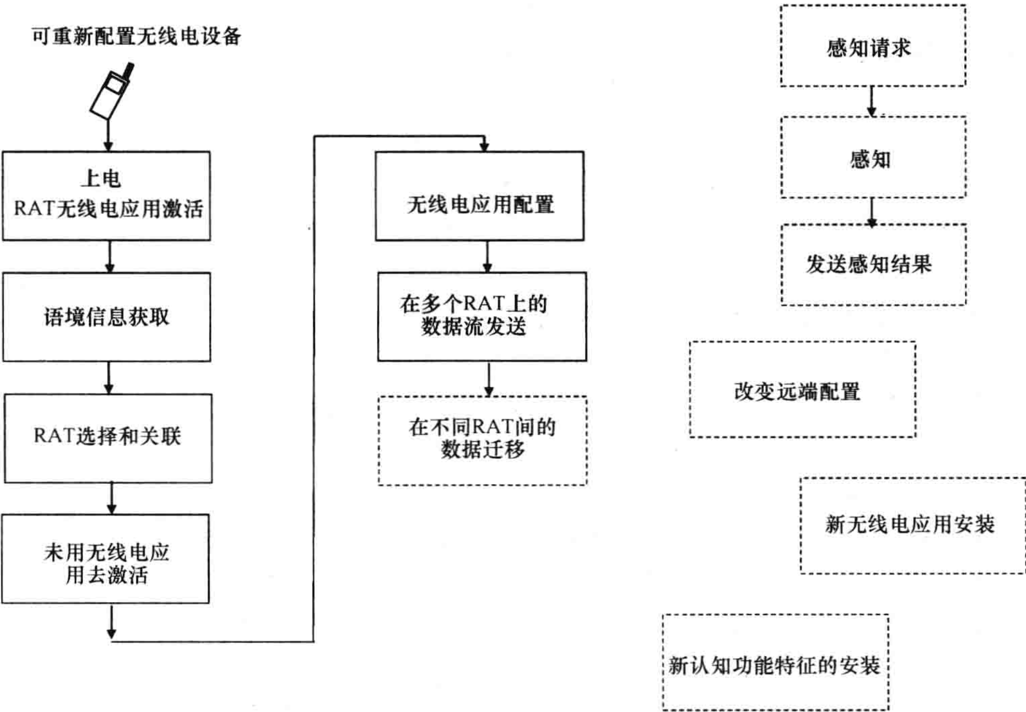


图 5.15 网络入口、关联和数据流发送的逻辑流

图5.15也包括感知过程，其中感知请求可能来自网络，感知结果的发送来自移动终端。除了感知外，移动设备支持在SDR子系统上安装新的无线电应用和新的认知功能。

如图5.15所示的逻辑流没有给出所涉及无线电接入标准定义的、与所选中RAT的网络进入过程有关的各个动作。在这种情形中，逻辑流包括诸如扫描下行链路信道、与服务基站同步、获取上行链路参数、基本能力协商、注册到网络和IP地址指派等动作。

5.2.2.1 可重构无线电设备用例

ETSI为RRD提出四种用例[12]。所考虑的场景是异构无线电接入网络场景，属于相同或不同运营商，具有可重构无线电能力。

所建议用例与如下方面有关：

• 以终端为中心的配置：RRD能够检测不同无线电接入网络的存在，并取决于场景而选择其中一个或多个进行关联和数据发送，目标是优化其工作条件（即电池消耗、内存、处理资源等）。这个用例假定不同无线电接入技术不是以中心方式管理的。因为优化不是由网络实施的，所以在这种情形中，终端做出选择来优化其自己的资源。

• 网络驱动终端配置：这个用例假定异构接入网络了解终端语境和终端的能力。在这种情形中，网络决定终端将与之关联的无线电接入技术，并将使用该技术进行数据发送。网络做出选择来优化网络性能，并优化发送到移动设备由之采用最优配置的命令。

• 将新功能（例如对新颖无线电系统的支持）添加到各RRD：如果无线电计算机没有安装实施一些新的无线电接入技术的无线电应用，则在多无线电计算机中可安装支持新颖无线电系统的新的无线电应用。这样的新无线电应用也可从网络下载。

• 提供新的认知功能：因为RRD需要获取与新颖无线电系统及其频谱有关的语境，则新的认知功能可被添加到SDR系统之上。

文献［12］针对所描述的用例所考虑的场景，除了移动设备（它是一台可重新配置的无线电设备）外，设想三个实体：

• 网络基础设施，由一个或多个网络运营商运营。

• 控制点（CP）：由RRD发起信息请求并从之接收信息，像频谱测量等。

• 认知引导信道（CPC）提供：是一个信道，它将语境提供给RRD，是有关可用RAT、RAT使用的频率、主辅用途的可用频率等。

文献［12］中的控制点和CPC提供是独立实体，目标是维持最大可能的通用化。在真实实现中，控制点和CPC提供可合并到一个实体，并由网络运营商或一个外部主体管理。控制点以从各终端接收到的信息更新CPC提供的语境。图5.16图示第一个用例（在一个异构无线电语境中以终端为中心的配置）的信息流。

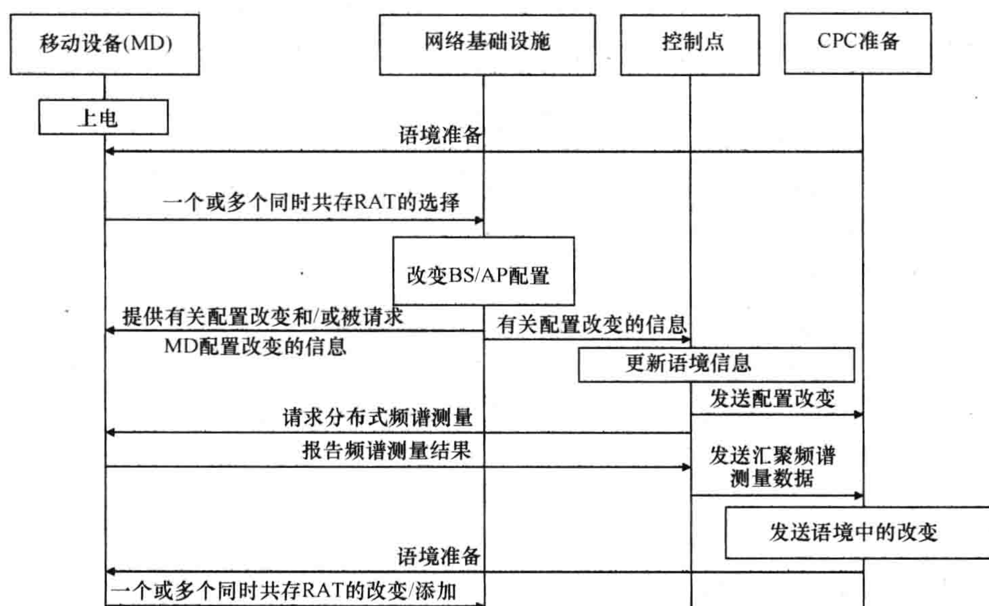


图 5.16　一个异构无线电语境中以终端为中心配置之用例的信息流表示

在一个异构无线电语境中以终端为中心配置的用例要求移动设备（MD），在上电之后，从一个认知引导信道（CPC）和/或其他移动设备获取语境信息。之后，MD 选择一个或多个要与之关联的 RAT（换句话说，识别终端所在的蜂窝基站/无线电覆盖区）。如有需要，网络基础设施改变所涉及基站（BS）和接入点（AP）的配置，并将改变传递给控制点（CP）。CP 更新语境信息，并将改变传递给 CPC 提供。为了得到有关频率占用的更新后的状况，CP 也请求移动设备频谱测量数据。汇总的结果由 CP 发送到 CPC 提供，由 CPC 更新语境和所提供的信息。如果 MD 确定改变或添加同时支持的 RAT，则它将该决策传递给网络基础设施。图 5.17 给出第二个用例（一个异构无线电语境中的一个网络驱动配置）的信息流。

在这种情形中，可能 RAT 和有关无线电参数配置的选择是由网络驱动的，而控制点和 CPC 提供是可选实体，在图 5.17 中表示为点线。网络为移动设备选择合适的 RAT，并命令 MD 以一个被选中的配置连接到被选择的 RAT，之后更新语境。为得到有关频率占用的更新过的状况，网络/CP 也请求移动设备频谱的测量数据。汇总的结果被用来确定 MD 是否必须改变要连接的 RAT，以便优化网络利用率；如果这样确定的话，则向 MD 发送一个 RAT 改变和配置的新命令。

图 5.18 和图 5.19 是与第三个和第四个用例有关的，涉及移动设备软件更新。在第三种情形中，以安装于 SDR 子系统中的新特征（例如对新颖无线电应用的支持）更新 MD；在第四个用例中，以新的认知特征（即新颖无线电系统的频谱测量数据）更新 MD，这些特征安装在 SDR 子系统之上。图 5.18 和图 5.19 的例子表明，RRD 从 CPC 检测到安装新的无线电软件的机会。

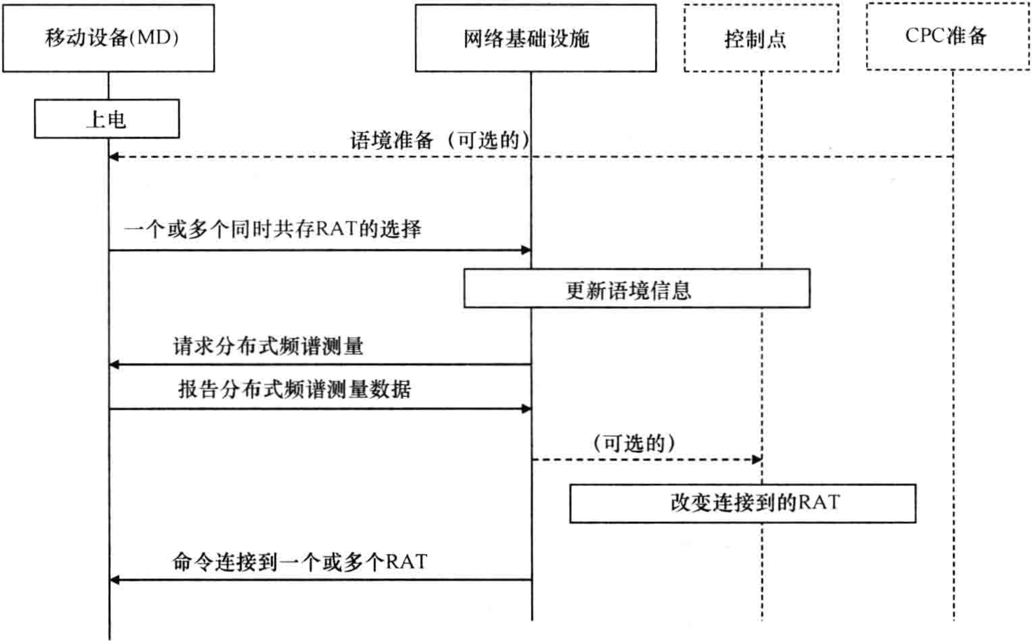


图 5.17　一个异构无线电语境中一个网络驱动配置用例的信息流

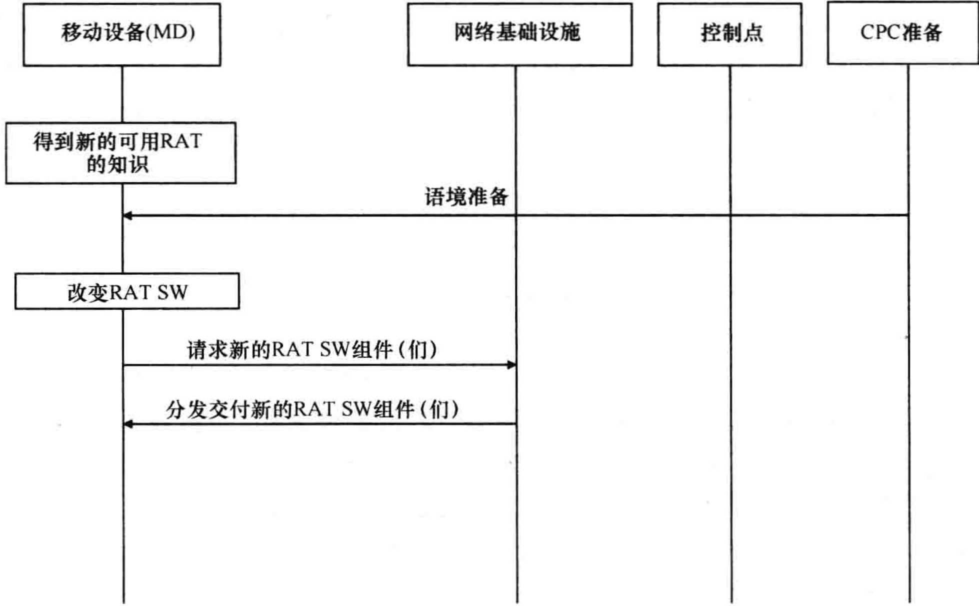


图 5.18　新功能特征提供的例子（即对新颖无线电系统的支持）

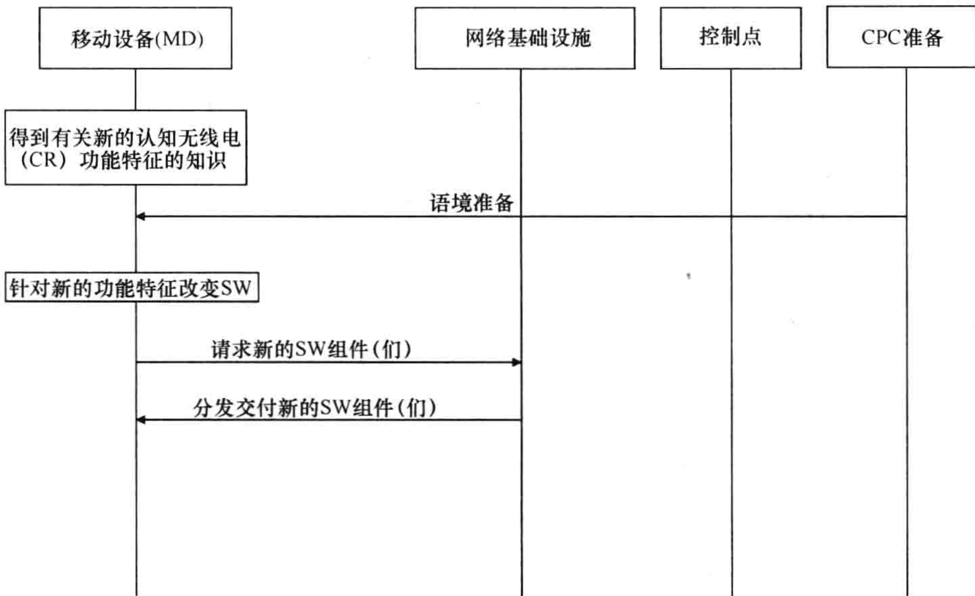


图 5.19 新的认知无线电功能特征提供的例子（即新颖无线电系统的频谱测量）

5.2.3 认知引导信道

认知引导信道（Cognitine Pilot Channel，CPC）提供语境信息（即工作无线电接入网络、无线电接入网络能力、地理位置信息、频谱占用、网络测量、移动测量等），以便在一个异构无线电接入网络的语境中支持和便利连通性。之后 CPC 是不同无线电系统共存和动态频谱接入的一项使能措施。

异构网络语境意味着，在空间的某个区域，不同无线电接入技术使用各种频谱进行工作。一台移动设备可与接入网络节点或其他移动设备进行发送，其中通过使用有许可证频带、无许可证频带（共享频谱），通过一个专用频谱的二级使用，或在专用于认知无线电系统（CRS）[13]的一个频谱上进行。

在图 5.20 中给出所述场景的一个例子，其中 eNB 和 NB 在一个有许可证的频谱上发送，AP 使用无许可证频谱，且 IEEE 802.22 基站作为一个二级用户（带有其连接的设备）使用 TV 频带。在图中，也给出两个认知无线电网络，一个运行在指派给认知无线电发送的频带（长期场景），另一个工作在一个无许可证共享频带（短期场景）。

认知引导信道支持启动阶段和正在进行阶段过程总的认知终端。当移动设备打开时，它在周知的频率中搜索认知引导信道（CPC）的存在。如果检测到，则它与 CPC 同步，并获取语境信息。之后，它能够为关联和数据发送选择一个或多个无线电网络。可重新配置无线电设备（RRD）使用 CPC 接收如下方面的信息，即有关其所在位置中的可用无线电接入网络、所用频率、拥有和管理网络的运营商、他

们所施用的政策等。

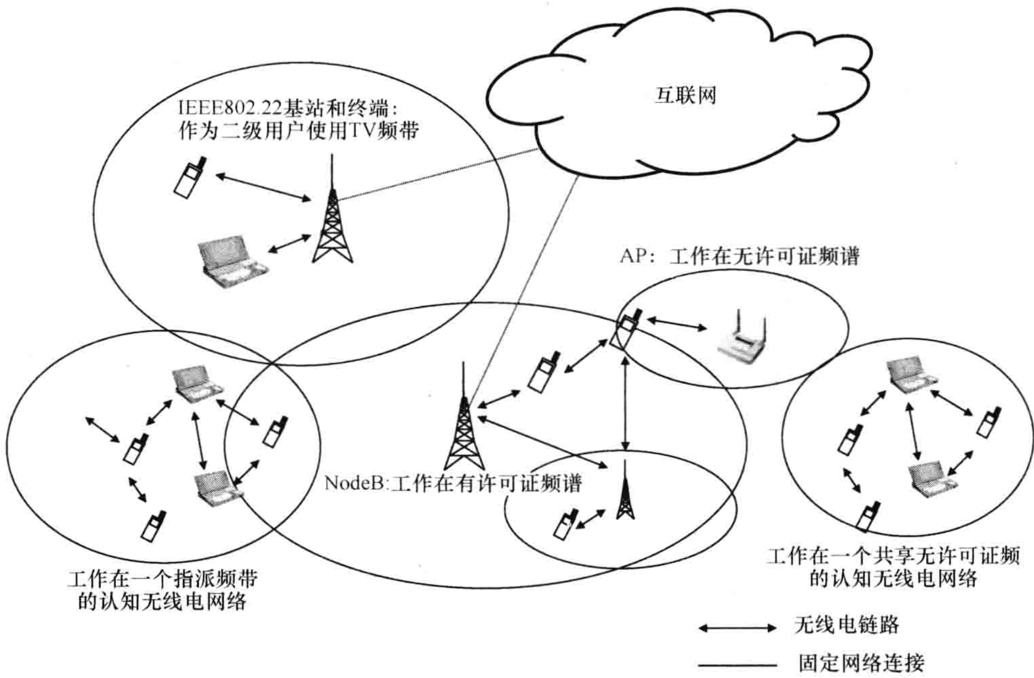


图 5.20 具有不同频谱使用情况的异构网络场景

之后终端注册到一个或多个接入网络，并切换到正在进行的阶段。在正在进行的阶段过程中，为更新以前的信息并获取额外信息（像所提供的服务、网络能力和负载等），终端要周期性地检查 CPC。所获得的信息也被用来支持 RAT 改变（例如出于负载均衡目的）和对新软件下载请求（例如安装一个新的 RAT）的决策。图 5.21 给出移动设备启动和正在进行的阶段过程中语境获取的流图。

语境引导信道可以是:

• 带外，如果使用一项给定的无线电技术，在专用于 CPC 的一个已知频带上发送的话。

• 带内，如果在与 RAT 网络节点相同的频带上发送的话。带内 CPC 发送使用被选接入网络的一个双向控制信道。

5.2.3.1 带外 CPC

带外认知引导信道（CPC）是在一个周知频带上发送的双向信道，它使用一项周知的无线电技术。它在某个地理区域广播有关可用无线电接入技术（RAT）的下行链路信息，带有每个工作 RAT 的使用频率，和用于主辅频谱用途、运营商的可用频率等。

带外 CPC 有两个主要缺陷：一个缺陷是在世界范围内为 CPC 发送持有一个独特频率的困难；另一个缺陷是指派给 CPC 之频带宽度，这是与要发送的信息量有

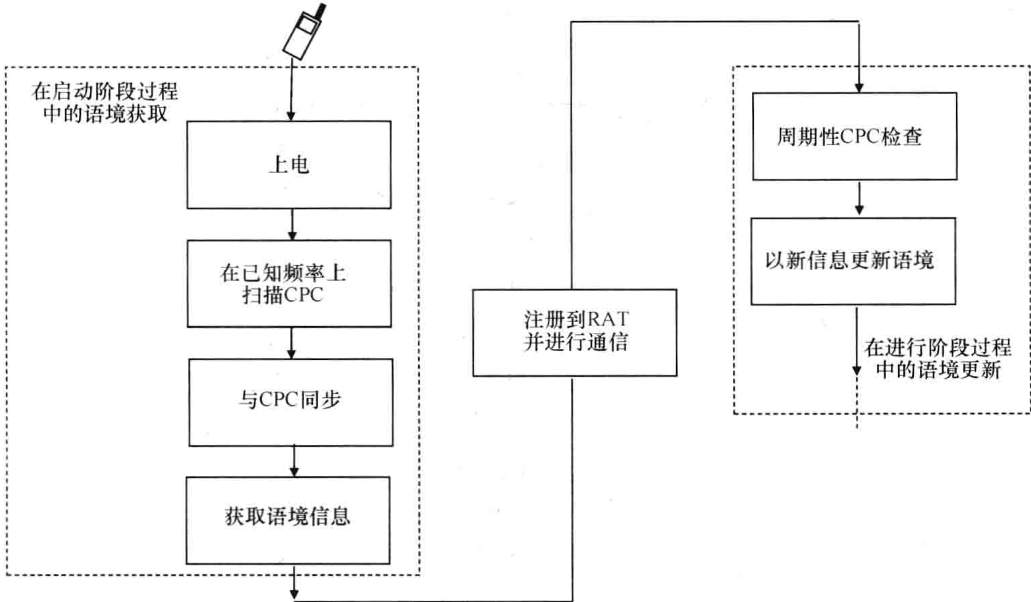


图 5.21 在移动设备启动和正在进行的阶段过程中语境获取的流图

关的。另一方面，一个带外 CPC 具有容易地和快速地搜索的显著优势。一般而言，一个带外 CPC 向一个地理区域中的各终端提供启动信息，像可用无线电接入网络、运营商、所用频率和策略。有关一个所用频谱的信息是随着变化而更新的，例如，这些变化可能由于动态频谱接入（DSA）[14] 或灵活的频谱管理（FSM）[15] 导致的。带外 CPC 一般来说是一个双向信道，它在下行链路广播语境信息，在上行链路从可重新配置无线电设备（RRD）接收测量数据，像频谱感知测量数据等。双向带外 CPC 也可由 RRD 使用来请求新的无线电引用和新的认知功能特征（上行链路），和从一个软件数据库中下载它们（下行链路）[13]。在一台移动终端的启动阶段过程中和软件下载过程中带外 CPC 用法的例子如图 5.22所示。

带外 CPC 也可被用来辅助基站（BS）和终端为二级用途选择可用频带，并在所选中的白空间上建立一条通信。在这种情形中，当二级终端和基站打开时，它们扫描周知的频率来搜索带外 CPC，并与下行链路同步，目的是得到有关二级用途可用频率的信息。之后，各 BS 和终端感知频谱，并在上行链路带外 CPC 上发送测量结果。当为频谱的二级用途确定可用频率时，在所选中频率集上建立二级网络，并更新语境。在启动阶段过程中二级系统辅助的带外 CPC 用途的一个例子如图 5.23 所示。

带外 CPC 也用于二级网络正在进行阶段的过程之中，交换分布式决策所需的信息。例如，感知测量结果可被发送到 CPC 管理器，以便更新频谱二级用途的可用频率，并最终改变二级网络工作频率。

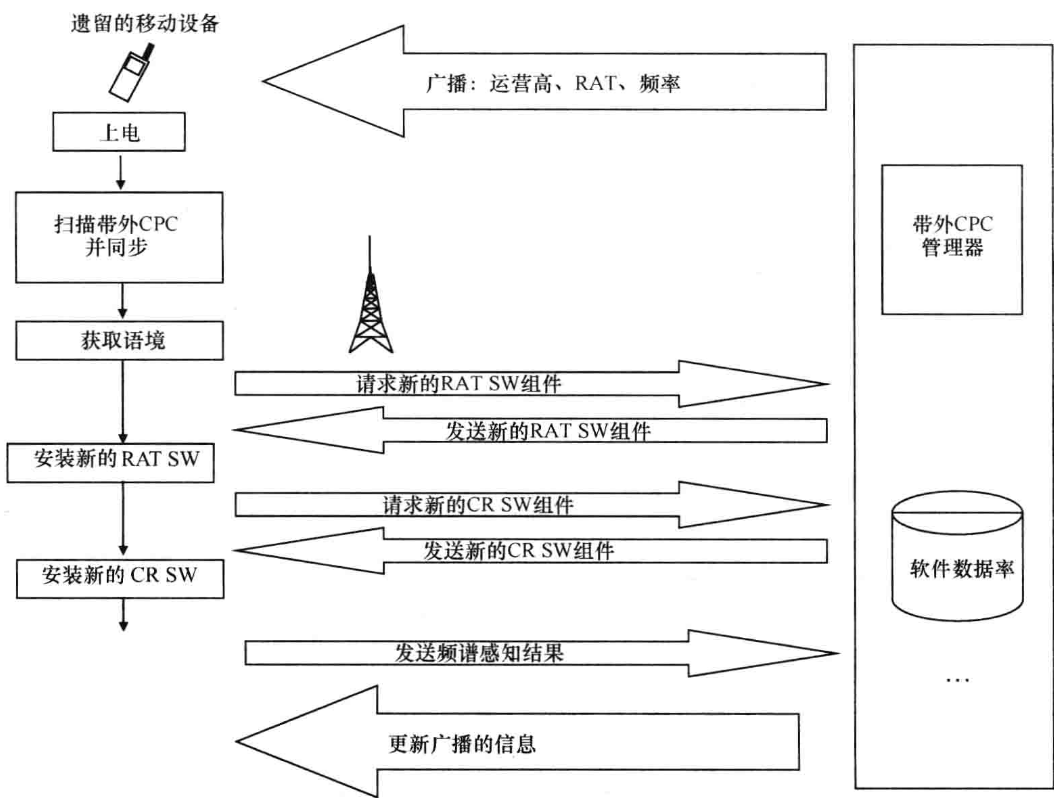


图 5.22 在一台移动终端的启动阶段过程中和软件下载过程中带外 CPC 用法的例子

带外 CPC 部署的例子

带外 CPC 是通过周知的无线电接入技术在周知的频率上发送的。在文献［16］中，考虑了两种可能的解决方案。

第一种解决方案处理采用 GSM 网络进行带外 CPC 交付。在这种场景中，GSM 基站必须被连接到带外 CPC 管理器。CPC 可被映射到一个或多个 GSM 控制信道。例如，广播信息可在广播控制信道（BCH）上发送，上行链路通信可在随机访问信道（RACH）上发送。对于双向通信（例如用于新软件请求和下载的情况），可使用一个专用的双向控制信道，像空闲（standalone）专用控制信道（SDCCH）。将 GSM 用作 CPC 之无线电接入技术的优势是，它是在欧洲和世界其他国家具有最高覆盖百分比的无线电移动网络。采用那项技术，将以最小投入建立带外 CPC。图 5.24给出在 GSM 控制信道上带外 CPC 发送的一个例子。

文献［13］中提议的第二个解决方案是在无许可证频率（像使用无线局域网（WLAN））发送 CPC 的可能性。在这个场景中，接入点（AP）必须被连接到 CPC 管理器。CPC 广播信息可从接入点在信标上发送，带外 CPC 双向通信可在 AP 无线电信道上遵循 IEEE 802.11 CSMA/CA（带有冲突避免的载波侦听多路访问）协议

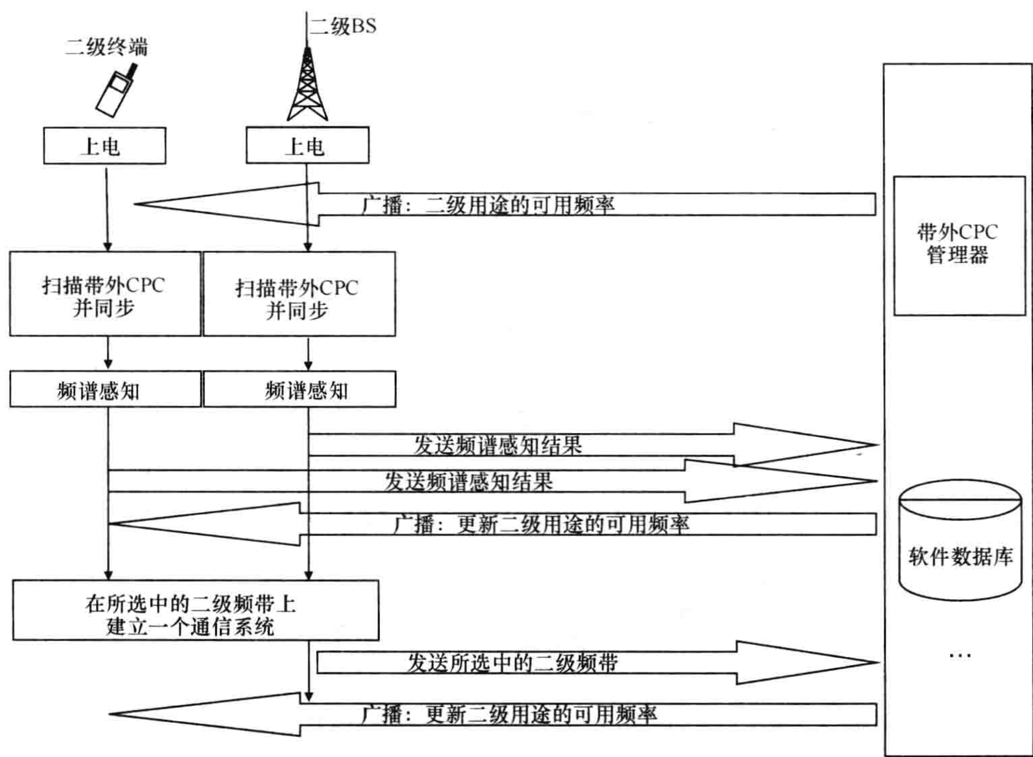


图 5.23　在启动阶段过程中二级系统辅助的带外 CPC 用途的例子

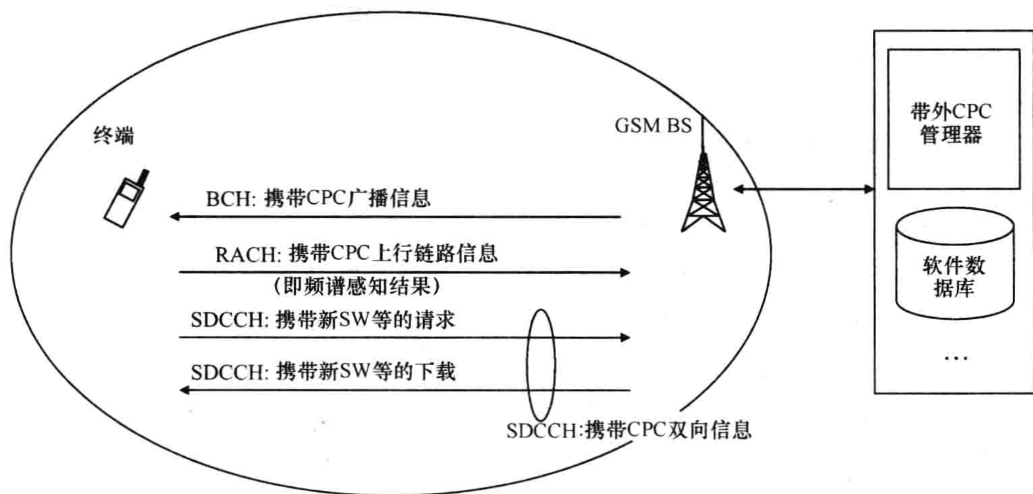


图 5.24　在 GSM 控制信道上带外 CPC 发送的例子

发送。在 IEEE 802.11 无线接口上带外 CPC 实现具有不一致覆盖的缺陷。这不能保障每处都存在带外 CPC，而仅在无线 LAN 中是存在的。在通过 IEEE 802.11 无线电接口的无许可证频率上带外 CPC 发送例子如图 5.25 所示。

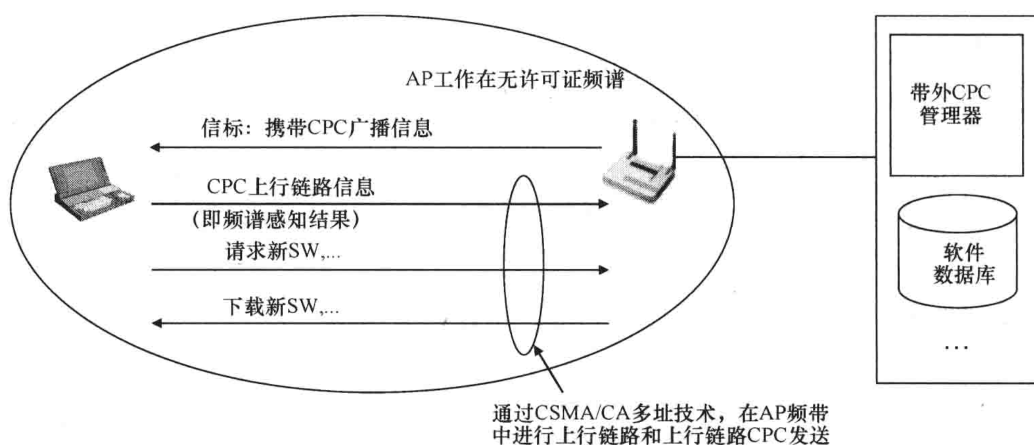


图 5.25 在通过 IEEE 802.11 无线电接口的无许可证频率上带外 CPC 发送例子

带外 CPC 交付战略

一台移动设备（MD）可通过三种可能战略获取带外语境[13]：被动扫描、主动扫描和基于 IP 的 CPC。

在被动扫描中，MD 扫描带外 CPC 的已知频率并接收语境信息。在这种情形中，使用一条新的逻辑信道（下行链路广播 CPC（DBCPC）信道）[13]连续地广播语境信息。DBCPC 被映射到被选中无线电接入技术的一条广播传输信道。

在主动扫描中，MD 在一条周知的上行链路信道（逻辑随机访问 CPC（RACPC））上发送对 CPC 的一条请求。网络以一条获取指示 CPC（AICPC）确认 RACPC 的正确接收，并在下行链路的应需 CPC（DODCPC）上发送 CPC 信息。RACPC 和 DODCPC 被映射到被选中无线电接入技术的上行链路和下行链路传输信道；AICPC 是在物理层被添加的一个指示器。

图 5.26 给出 CPC 信道被添加到 GSM 无线电信道的一个例子。在图中，DBCPC、RACPC 和 DODCPC 是被映射到现有传输信道的新的逻辑信道，而 AICPC 是在物理层的一个新的指示器。图 5.27 给出被动和主动 CPC 扫描时终端和网络之间交换的消息。

除了被动和主动 CPC 扫描外，在文献［13］中提出第三种交付战略，即基于 IP 的 CPC。在这种情形中，CPC 实现处在应用层，向网络架构提供一个 CPC 信息数据库，该库可通过一条互联网连接可达。当打开时，移动设备连接到一个可用的 RAT，与 CPC 信息数据库建立一条互联网连接。之后，它请求 CPC 信息，并在接收语境之后，最终决定切换到其他 RAT。基于 IP 的 CRC 架构的一个例子如图 5.28 所示。基于 IP 的 CPC 架构的优势是，带外 CPC 管理器可处于该管理器可连接到互联网的任何地方，并可由运营商或第三方管理。

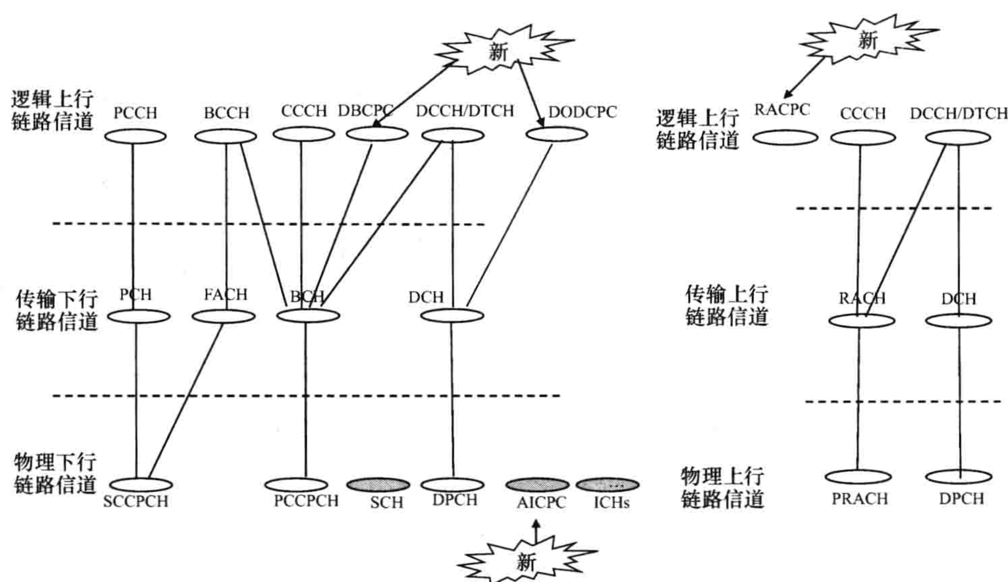


图 5.26 被添加到 GSM 无线电信道结构的 CPC 信道的例子

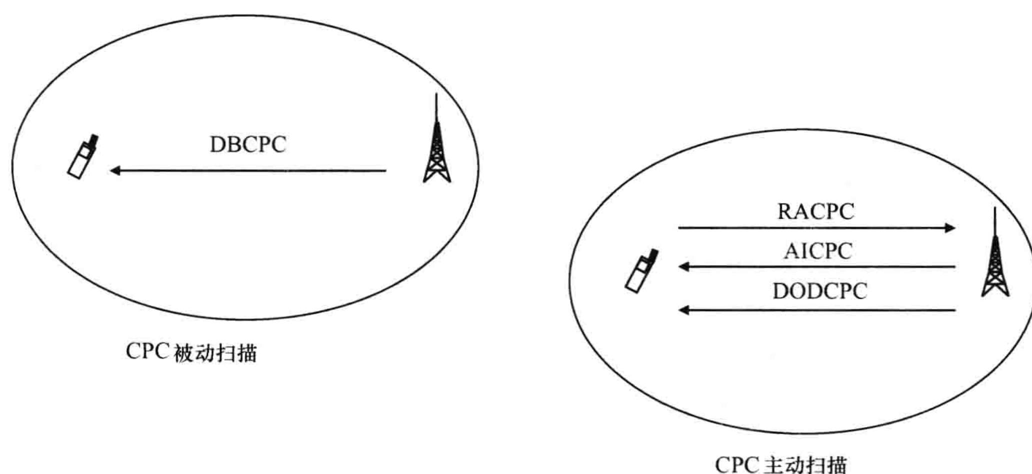


图 5.27 被动和主动 CPC 扫描的例子

5.2.3.2 带内 CPC

带内 CPC 在用于数据发送的相同无线电接入技术的控制信道上发送。带内 CPC 并不是带外 CPC 的替代，而是与之互补的。在组合式 CPC 架构中，带外 CPC 在整个区域上广播相同信息。带外 CPC 广播的信息是有关无线电接入网络、运营商、所用频谱和策略的。向每个工作无线电接入网络提供带有额外信息的一个带内 CPC，这些信息像 RAT 类型、运营商码、策略、能力等。图 5.29 给出带有带外和带内 CPC 的网络架构的一个例子。

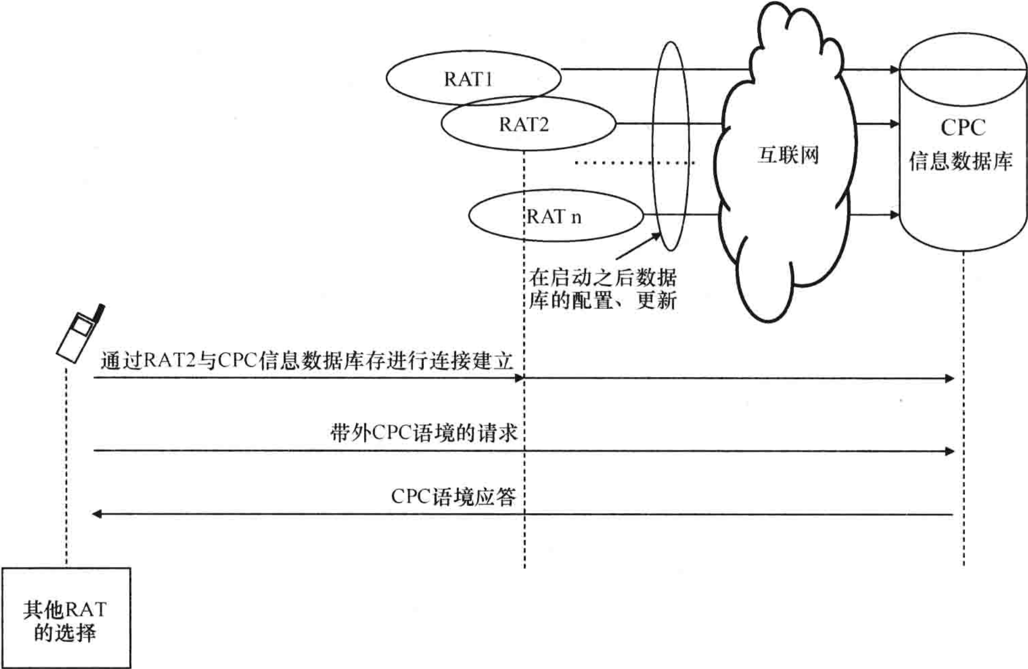


图 5.28 基于 IP 的 CPC 的例子

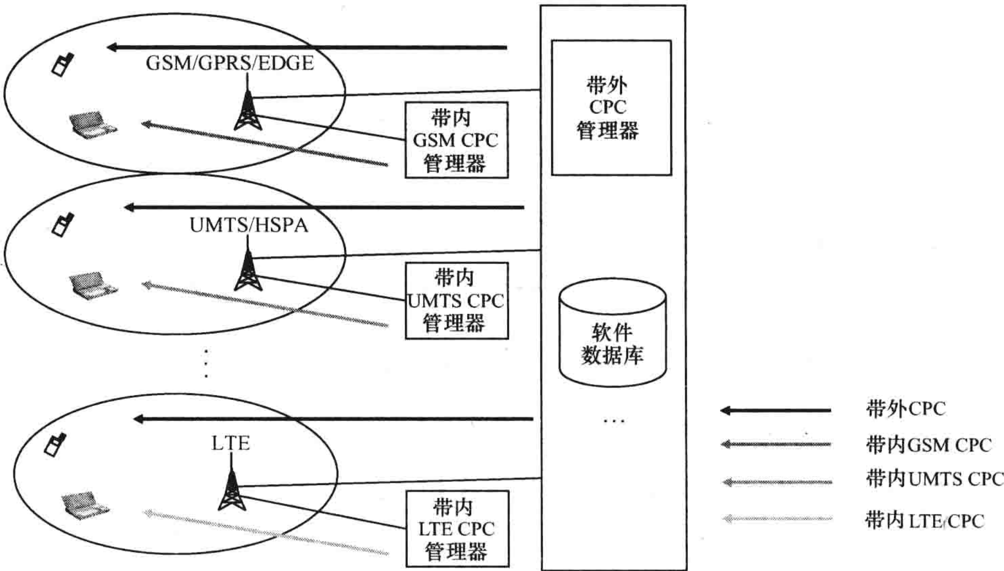


图 5.29 带有带外和带内 CPC 的网络架构的例子

当移动设备打开时，为接收到有关语境的全局信息（像那个位置的可用无线

电接入技术（RAT）、所用频率和二级用途的可用频率），它侦听带外 CPC。得到的信息被用来选择和连接到一个或多个 RAT。之后，为接收与所选 RAT 关联的语境，设备停止侦听带外 CPC，而开始侦听带内 CPC。如果移动设备需要将实际连接切换到一个不同的 RAT，它再次侦听带外 CPC。图 5.30 给出所述带外和带内 CPC 获取的流图。

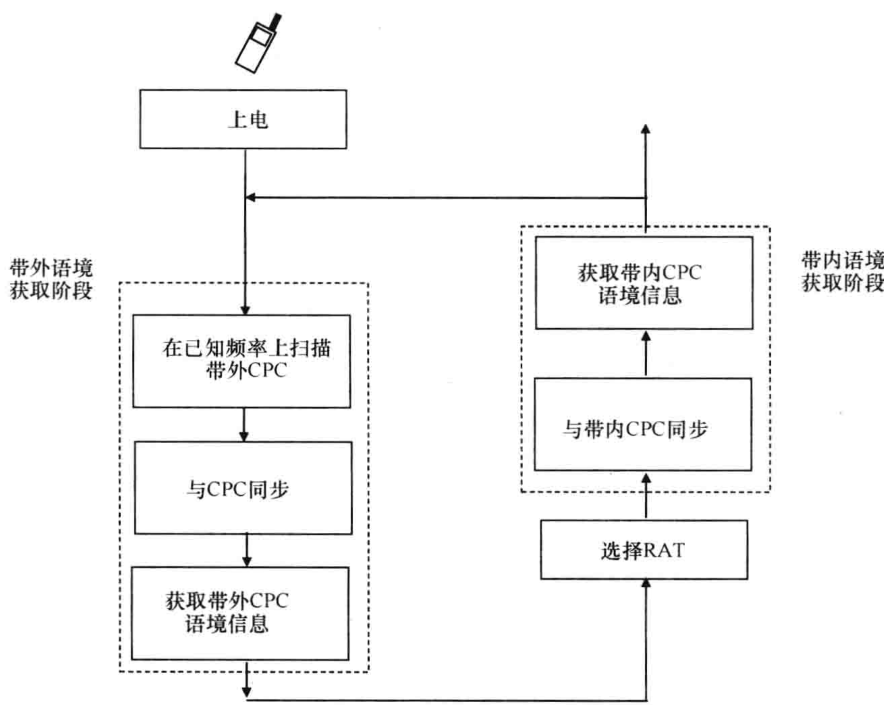


图 5.30　带外和带内 CPC 获取的流图

带内 CPC 交付战略可类似于带外 CPC 交付战略。带内 CPC 可被映射到给定无线电接入技术的控制信道，采用的是语境获取的被动模式或主动模式。带内 CPC 也可基于到一台 CPC 服务器的一条 IP 连接加以实现。

带内 CPC 的用例

带内 CPC 用来在数据发送的相同频带中交付 CPC 语境信息。在多个 RAT 由相同网络运营商管理的场景中，带内 CPC 也可向移动设备交付指令，以实施网络优化[17]。

在给定场景所涉及的实体有：移动设备、由相同网络运营商管理的多个无线电接入技术、联合无线电资源管理（JRRM）实体、配置控制模块（CCM）和 CPC 管理器。接入网络节点是可重新配置的节点，装备有在不同 RAT 间共享的硬件处理资源（HPR）。每个 RAT 是使用一定量的 HPR（取决于无线电参数的配置、正在进行的流量总量等）的一项无线电应用。HPR 被连接到无线电频率块（RFB），RFB 连接到天线，并能够同时支持不同的 RAT。

JRRM 实体处理无线电资源，实施无线电载波控制、无线电接纳控制、上行链路和下行链路中的资源调度、负载均衡等。JRRM 实体可在 RBS（如图 5.5 所示）内部实现或作为一个外部实体实现。

为用例所考虑场景中的另一个实体是重新配置实体（RE），它可位于 RBS 内部或外部，并具有评估可能 RBS 重新配置的任务。

在所述用例中，RBS、JRRM 和重新配置实体是三个不同实体。最后，存在处理带内 CPC 的带内 CPC 管理器。图 5.31 给出针对负载均衡的带内 CPC 用法（RAT 重新选择）的一个例子。

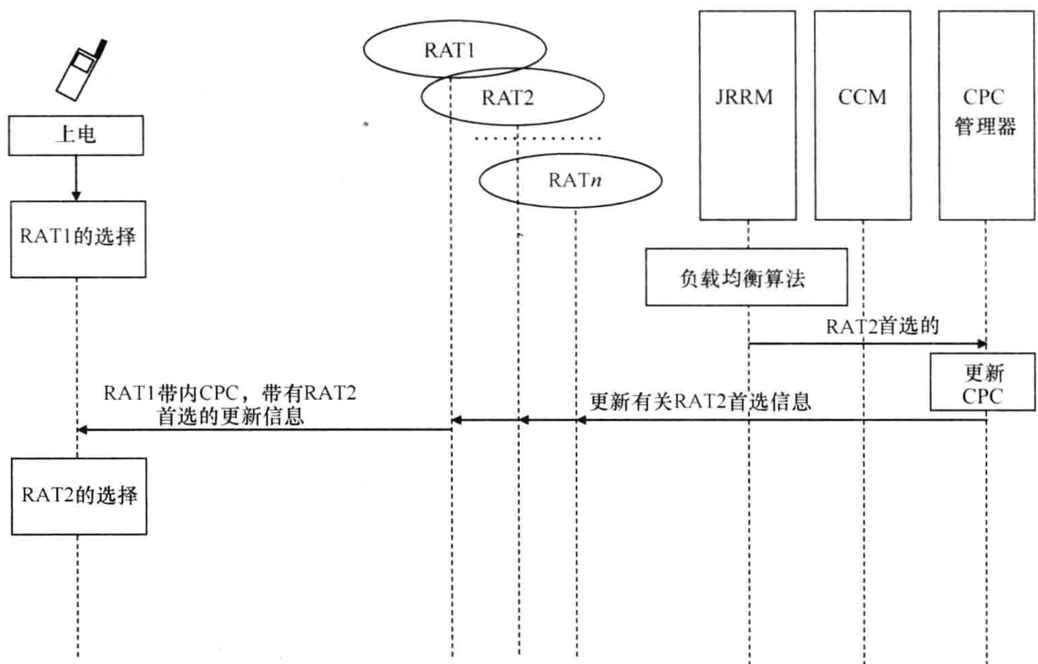


图 5.31　针对负载均衡的带内 CPC 用法（RAT 重新选择）的例子

在上电之后，终端就连接到 RAT1 上。无线电资源管理（RRM）之负载均衡算法的输出认为 RAT2 是首选的。这个信息从 RRM 实体传递到 CPC 管理器，后者以 RAT2 首选来更新 CPC 信息。这个更新的首选信息是在 RAT1 带内 CPC 上发送的，移动设备会周期性地检查该 CPC。在接收到新的策略之后，终端切换到 RAT2，由此结束了 CPC-辅助的负载均衡规程。在无线电资源优化的正在进行阶段过程中，可运行一个类似的规程。图 5.32 给出带有 RBS 软件重新配置的 CPC-辅助无线电资源优化的一个例子。

在正在进行的阶段过程中，终端使用 RAT2 进行数据发送。RRM 的负载无线电资源优化算法的输出认为 RAT3 是首选的。这个信息从 RRM 实体传递到 CPC 管理器，后者以 RAT3 首选更新 CPC 信息。因为 RBS 没有被提供 RAT3 软件，则 RBS

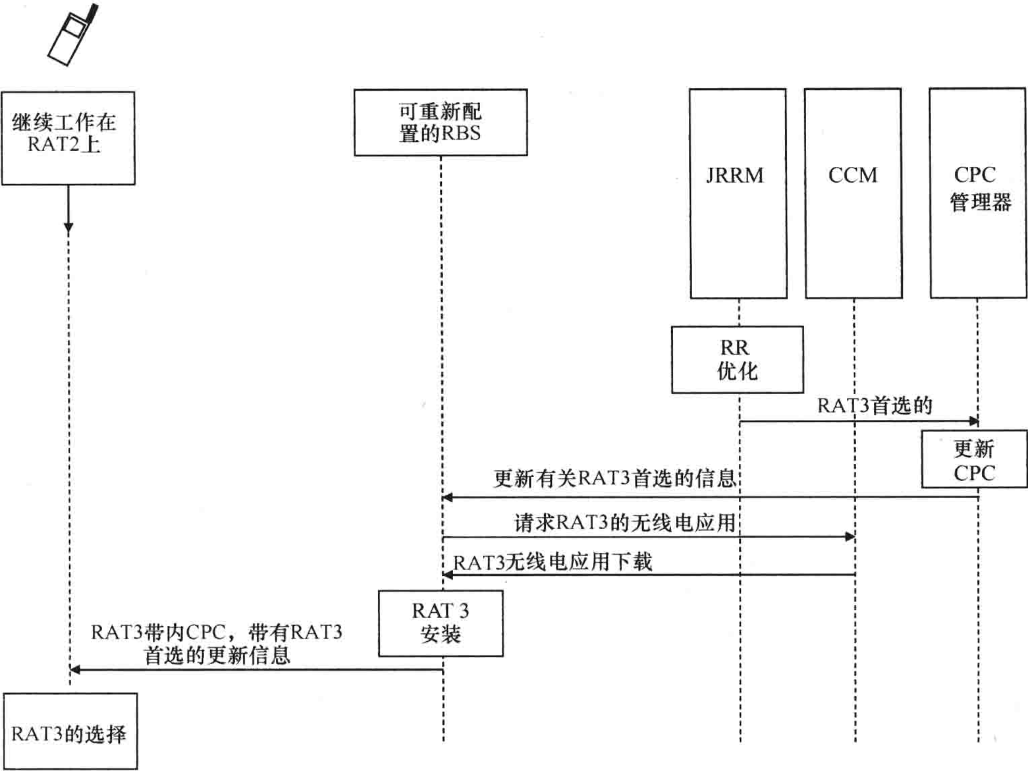


图 5.32 带有 RBS 软件重新配置的 CPC-辅助无线电资源优化规程的例子

从 CCM 下载，在这个例子中 CCM 包括软件数据库。之后，它以 RAT3 为首选的信息更新带内 CPC。在接收到新的策略之后，终端切换到 RAT3，由此结束了 CPC-辅助的无线电资源优化规程。

5.2.4 ETSI RRS 功能架构

2009 年欧洲电信标准组织（ETSI）为可重新配置无线电系统（RRS）的管理和控制提出一种功能架构（FA）[3]。这个场景是不同 RAT 连接到一个基于 IP 的核心网，如图 5.2 所示。不同 RAT 可能属于相同或不同运营商，并包括不同类型的接入网络节点，像遗留的 GSM 基站（BS）、UMTS NB、LTE eNB、多-RAT 可重新配置 RBS、认知无线电 BS、接入点等。之后，现有 RAT 和新 RAT 假定可共存，并通过一个架构集成在一起，依据频谱策略和用户需要，该架构将全局性地和动态地优化无线电资源。

不同类型的无线电终端工作在这种多-RAT 场景（像遗留 2G/3G 终端、认知设备和多-RAT 可重新配置无线电设备）中。各终端可与接入网络节点或直接链路通信。其中一些也支持与不同 RAT 的多条连接。各连接遵守服务相关的 QoS 参数和其他与（例如）用户概要、所用 RAT 等有关的策略。

对于可重新配置节点的管理，接入网络节点被连接到几台服务器。一些服务器给出频谱策略，也可灵活地管理分配给各 RAT 的频谱，甚至在它们属于不同运营商的情形中也是如此。可允许或禁止频谱共享和频谱租赁，可采用确定规则在频带的一些部分中设置主辅频谱使用。可依据监管机构的政策[10]改变频谱使用的规则。

图 5.33、图 5.34 和图 5.35 给出三种情形中可重新配置无线电系统管理和控制的高层 ETSI 功能架构：单运营商观点、多运营商观点和单运营商多跳观点。

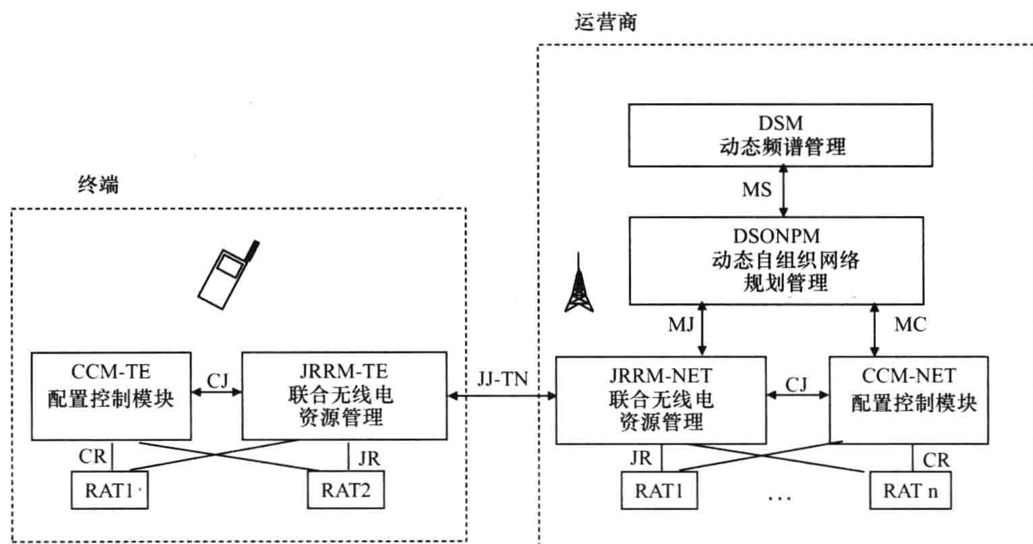


图 5.33 单运营商观点下可重新配置无线电系统管理和控制的高层 ETSI 功能架构

在图 5.33 中给出 ETSI SA，并给出连接到一个运营商的一个终端的情形。图 5.34 给出一个多运营商场景情形中的相同 FA，而图 5.35 给出多跳架构的情形。在多运营商场景（图 5.34）中，一个终端可被连接到一个或多个网络运营商（NO），且各 NO 协作优化整体无线电资源的使用。在多跳架构（图 5.35）中，终端 1 可直接与网络通信，并可作为终端 2 的中继而工作，也可直接与终端 2 通信。

运营商功能架构包括如下功能块：

- DSM（动态频谱管理）；
- DSONPM（动态自组织网络规划管理）；
- CRRM-NET（配置控制模块-网络侧）；
- JRRM-NET（联合无线电资源管理-网络侧）。

终端功能架构包括如下块：

- CCM-TE（配置控制模块——终端设备侧）；

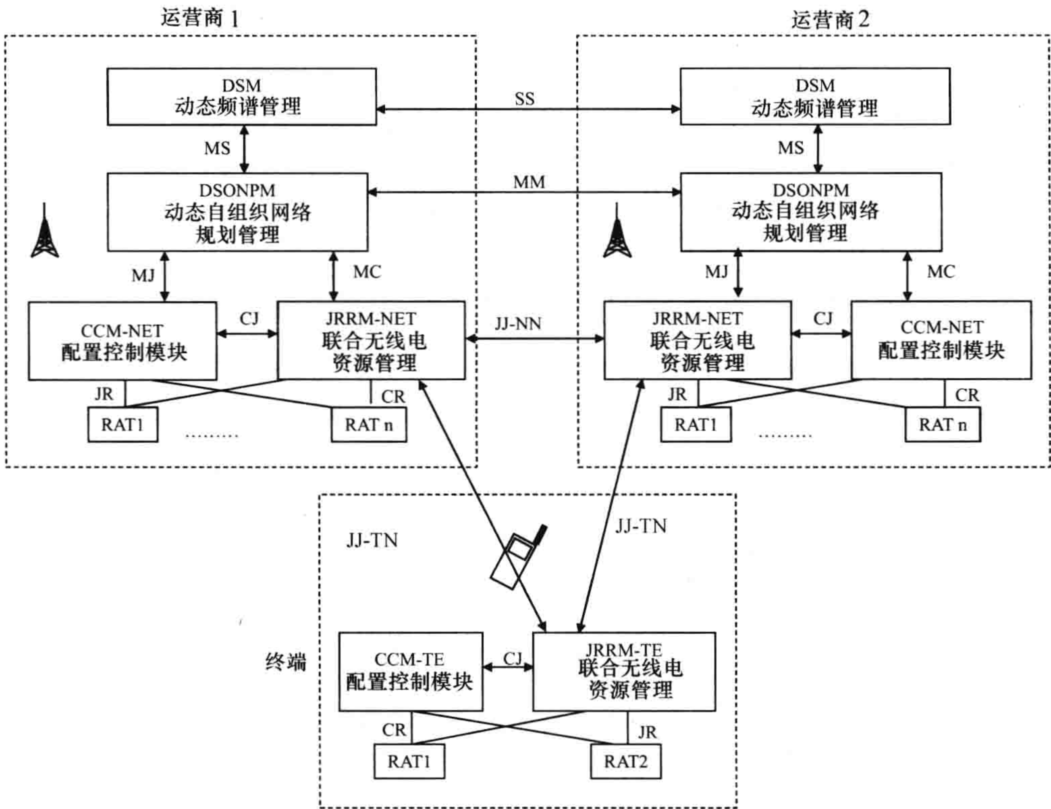


图 5.34　多运营商观点的情形下可重新配置无线电系统管理和控制的高层 ETSI 功能架构

- JRRM-TE（联合无线电资源管理——终端设备侧）。

通过标准 CJ 接口，配置控制模块（CCM）与在终端侧和运营商侧的 JRRM 块通信。CCM 通过 CR 接口控制不同 RAT 的配置，而 JRRM 在网络侧和终端侧通过 JR 接口联合地管理不同 RAT 的无线电资源。终端和网络的 JRRM 模块通过一个名为 JJ-TN（JJ-终端-网络）的标准接口进行通信。

运营商网络的自组织模块 DSONPM 分别通过 MJ 和 MC 接口与 CCM-NET 和 JRRM-NET 模块通信。最后，运营商的 DSM 模块通过与 DSONPM 的双向通信（通过 MS 接口加以支持）动态地管理频谱。

如果存在两个运营商（图 5.34），则功能块之间的接口支持整体无线电资源的联合优化。特别地，SS 是运营商 1 的 DSM 和运营商 2 的 DSM 之间的接口；MM 是运营商 1 的 DSONPM 和运营商 2 的 DSONPM 之间的接口；JJ-NN（JJ-网络-网络）是这两个运营商的 JRRM 模块之间的接口。在终端-终端通信的情形中，JJ-TT（JJ-网络-网络）接口支持两台设备的 JRRM 模块之间的通信。

DSONPM 和 CCM 之间的消息是通过 MC 接口交换的；DSONPM 和 JRRM 之间的消息是通过 CJ 接口交换的。

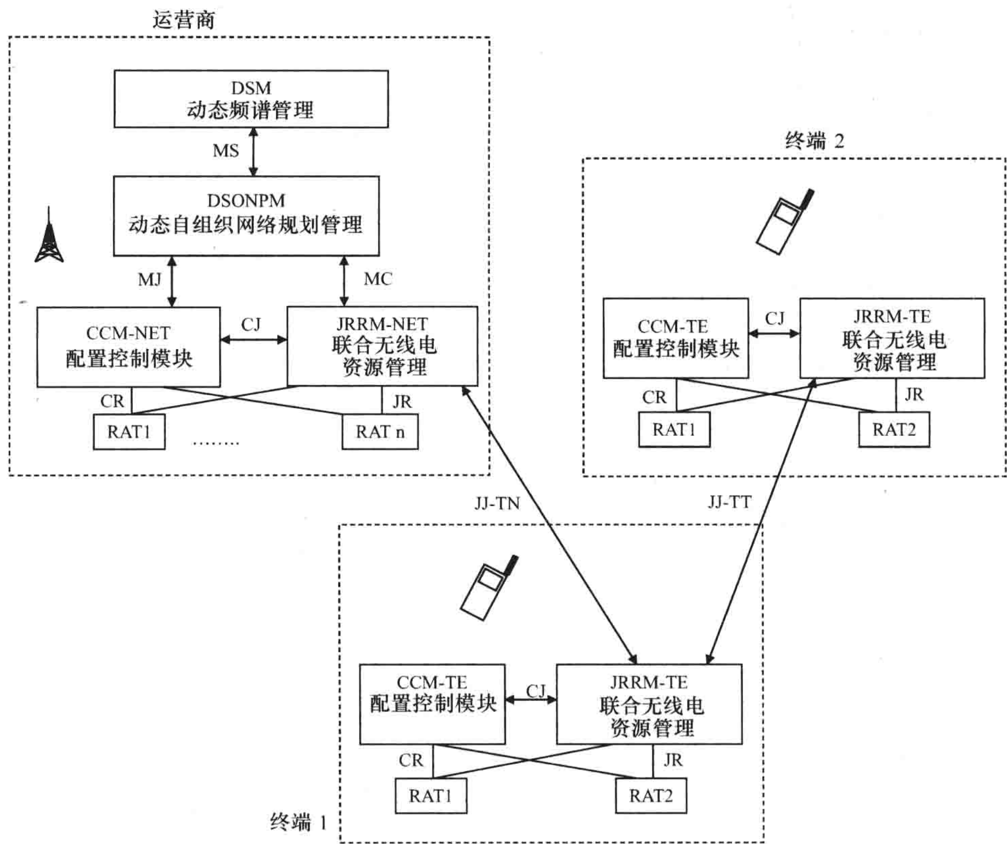


图 5.35　单运营商多跳观点的情形下可重新配置无线电系统管理和控制的高层 ETSI 功能架构

5.2.4.1　动态频谱管理实体

DSM 是管理运营商频谱资源的实体。它实施由监管机构确立并由运营商选择的频谱政策（即支持频谱交易）。它知道当前的频谱指派，包括主辅频谱用途。它向 DSONPM 提供带宽分配，后者维护更新过的语境，并将可用频谱量赋予每个 RAT。此外，如果有富裕的话，它将频谱与其他运营商做交易。在决策制定过程方面，DSM 得到来自 DSONPM 实体信息的辅助，DSONPM 实体向 DSM 提供指示器，像频谱效率、空间频谱使用情况等。通过 MS 接口在 DSM 和 DSONPM 之间交换消息。如果支持频谱交易，则不同提供商间的 SS 接口就支持动态频谱租赁和提供的可能性。图 5.36 给出带有接口的 DSM 功能。

5.2.4.2　动态自组织网络规划管理实体

DSONPM 是规划中期和长期重新配置动作的实体，这些动作是多-RAT 网络应该实施的。DSONPM 从 JRRM 模块获取有关语境的信息，这是有关不同 RAT 的网元的信息（即在每个 RAT 和蜂窝中使用的资源、工作频率，每个 RAT 以所提供 QoS 水平、服务优先级等处理的流量）。它也从 JRRM 获取有关移动设备的信息，像所用的资源和频率等。

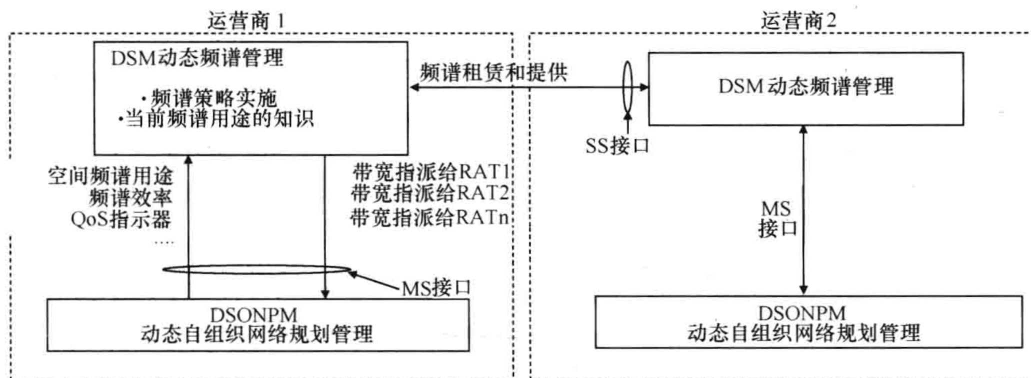


图 5.36　带有接口的 DSM 功能

除了 RAT 网元的重新配置能力外，DSONPM 从 CCM 接收 RAT 网元的当前配置。此外，它从 CCM 获取有关移动设备能力、其当前配置和重新配置能力等。之后 DSONPM 运行一个自优化过程，这得到 RAT 网络节点的重新配置动作。由 DSONPM 采取的决策，也考虑到有关优化和协商算法的网络运营商策略，有关用户分类、QoS、针对某些服务的 RAT 首选项等的准则。DSONPM 模块的输出作为 JRRM 和 CCM 实体的输入。对于 CCM 而言，它请求某些 RAT、蜂窝和移动设备的新的重新配置，这给出新的配置参数；对于 JRRM 而言，它请求有关 RAT、蜂窝内使用的资源，QoS 水平，并修改指派给一些用户的资源等。

如果支持网络运营商之间的协作，则为了避免干扰和联合地优化网络性能，接口 MM 可被用来交换有关网络配置和规划的信息。图 5.37 给出带有接口的 DSONPM 功能。

5.2.4.3　联合无线电资源管理实体

联合无线电资源管理（JRRM）是联合管理网络和终端之无线电资源的实体。它被分成两个实体：JRRM-NET（是网络侧的实例）和 JRRM-TE（是终端侧的实例）。在网络侧，一个 JRRM 实例可以在每个基站上处于活跃状态，或它可以中心化方式处于无线电资源的一个或多个控制器中。

JRRM-TE 负责处于空闲模式的一台终端的接入选择。一台终端的接入选择是由网络侧和终端侧的 JRRM 联合管理的，并取决于终端能力、所请求的服务、用户首选项、当前网络负载和无线电信道估计。接入选择包括运营商、RAT 和蜂窝的选择。JRRM 实体也为无线电资源的优化管理（例如无线电载波控制、无线电接纳控制、上行链路和下行链路的调度、重传处理等）运行所用现有的和新的算法。

JRRM-NET 和 JRRM-TE 通过标准接口 JJ-TN 进行通信。JJ-TN 接口由网络使用来发送语境信息，例如在某个区域中哪些 RAT/蜂窝是可用的、哪个是首选的、接入选择的策略、蜂窝位置和能力等。例如，认知引导信道可被映射到 JJ-

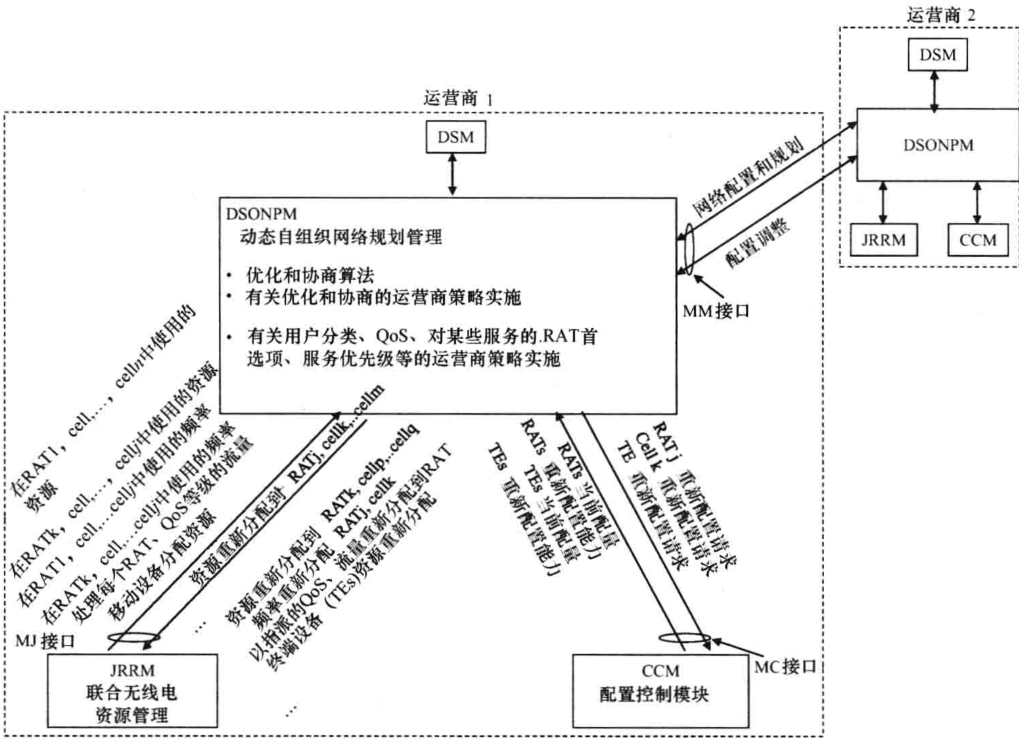


图 5.37 带有接口的 DSONPM 功能

TN 接口。网络也使用 JJ-TN 接口命令切换决策、活跃链路上的资源重新分配等。在另一个方向上，移动设备使用 JJ-TN 接口发送测量结果、频谱感知结果、活跃链路上的性能等。在两个终端之间的通信（即一条直接链路）中，所涉及终端的 JRRM-TE 实例交换有关语境的信息（即测量结果、频谱感知结果），并通过 JJ-TT 接口协商资源。在一个多跳配置中，JJ-TT 接口也被用来转发进出 JJ-TN 接口的信息。

通过 CJ 接口，JRRM 模块与配置控制模块（CCM）通信，进行当前和新的配置参数的交换。这适用于网络侧和终端侧。

最后，JRRM 通过 JR 接口与 RAT 通信，该接口用于报告资源使用状态和将无线电资源重新分配到各 RAT。JRRM 也可请求一些无线电参数的某些 RAT 测量数据和相关报告。ETSI 技术报告[1]建议，不应使用以一般格式（即比特率、比特错误率、时延）和 RAT-有关的参数或终端类有关的参数（即信道质量指示器）。在网络侧和终端侧适用 JRRM 实体与底层 RAT 的通信。

如果支持网络运营商之间的协作，则为避免干扰和联合优化网络性能，接口 JJ-NN 可被用来交换有关网络资源使用情况和协商的信息。图 5.38 给出带有相关接口的 JRRM 功能。

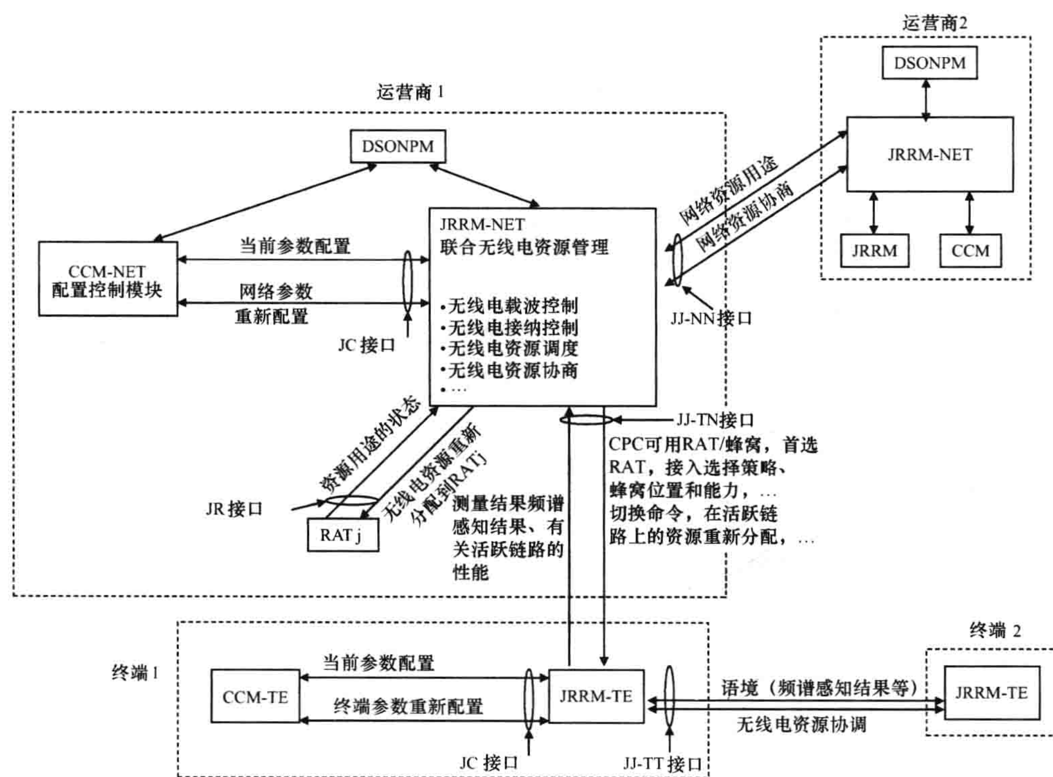


图5.38　带有接口的JRRM功能

5.2.4.4　配置控制模块

配置控制模块（CCM）是负责网元配置的实体。它被分为两个实体：CCM-NET（是在网络侧的实例）和CCM-TE（是在终端侧的实例）。在网络侧，一个CCM实例可活跃在每个基站之中或一般来说在每个可重新配置节点之中。CCM-TE负责终端设备重新配置。

CCM执行通过JC接口从JRRM和通过MC接口从DSONPM接收到的指令。它实施可重新配置网络节点的自配置和自优化。例如，在一个基站中，它可打开/关闭一些载波并修改天线倾角等。在终端侧和网络侧，它将一些会话切换到其他蜂窝或RAT，且它也负责软件（即新RAT或现有RAT的新功能特征）下载、安装和激活。CCM将有关当前配置的信息报告给JRRM模块，像新软件和相应配置的可用性。CCM模块从底层RAT接收无线电应用的当前配置，并请求重新配置的执行。图5.39给出带有相关接口的CCM功能。

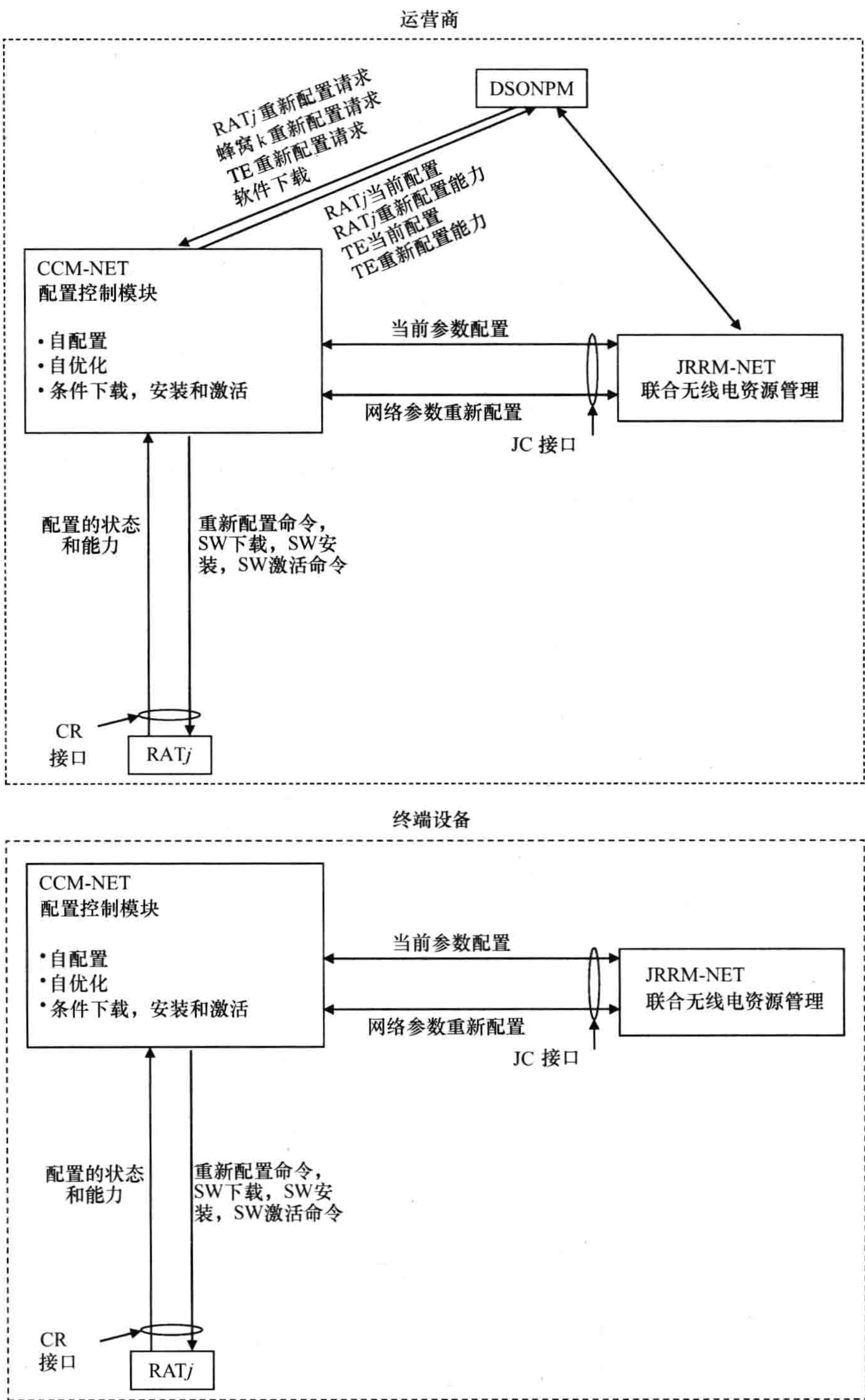


图 5.39 带有接口的 CCM 功能

5.3 小结

2009年欧洲电信标准组织发布里有关可重新配置无线电系统的第一份技术报告。ETSI为可重新配置无线电基站提出一种参考架构，该基站具有多标准能力，不同RAT实现为软件，且具有下载、安装和激活新RAT或以新功能特征更新现有RAT的可能。除了灵活的频谱分配可能外，RBS也包括自建立和自优化功能。

一台可重新配置移动设备的参考架构，将终端实现为一台无线电计算机，有针对不同RAT的无线电应用。多无线电可同时运行在无线电计算机中，具有重新配置和调整无线电参数的可能。

ETSI针对标准化的建议，包括在一个认知引导信道（CPC）中传递无线电语境（即使用的RAT、主辅用途的可用频率、使用的频率、运营商策略等）的可能性，CPC可实现在当前RAT的相同频带（带内CPC）或一个专用频带（带外CPC）之中。所提功能架构设想了有单个运营商和不同运营商（针对无线电资源优化的联合目标进行协同）的各场景。

针对动态频谱管理、动态自组织网络规划和管理、联合无线电资源管理和配置控制，引入了新实体。通过标准接口，新实体与无线电终端中的对应实体双向地进行通信。

参考文献

1. ETSI TR 102 802 (2009) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Cognitive Radio System Concept*, v1.1.1.
2. ETSI TR 102 733 (2010) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); System Aspects for Public Safety*, V1.1.1.
3. ETSI TR 102 682 (2009) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Functional Architecture for Management and Control of Reconfigurable Radio Systems*, v1.1.1.
4. Mueck, M., Piipponen, A., Kalliojärvi, K. *et al.* (2010) ETSI Reconfigurable Radio Systems: Status and Future Directions on Software Defined Radio and Cognitive Radio Standards. *IEEE Communications Magazine*, September, 78–86.
5. ETSI TR 102 681 (2009) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Radio Base Station (RBS) Software Defined Radio (SDR) Status, Implementations, and Costs Aspects, Including Future Possibilities*, v1.1.1.
6. Open Base Station Architecture Initiative, BTS System Reference Document, version 2.0, 2006.
7. ETSI TR 102 680 (2009) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); SDR Reference Architecture for Mobile Device*, v1.1.1.
8. ETSI TR 102 628 (2010) *Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); System Reference Document; Land Mobile Service; Additional Spectrum Requirements for Future Public Safety and Security (PSS) Wireless Communication Systems in the UHF Frequency Range*, V1.1.1.
9. ETSI TR 102 839 (2011) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Multiradio Interface for Software Defined Radio (SDR) Mobile Device Architecture and Services*, V1.1.1.
10. ETSI TR 102 803 (2010) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Potential Regulatory Aspects of Cognitive Radio and Software Defined Radio Systems*, V1.1.1.
11. ETSI TR 103 064 (2011) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Business and Cost Considerations of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio (CR) in the Public Safety Domain*, V1.1.1.

12. ETSI TR 103 062 (2011) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Use Cases and Scenarios for Software Defined Radio (SDR) Reference Architecture for Mobile Device*, V1.1.1.
13. ETSI TR 102 802 (2010) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Cognitive Radio System Concept*, V1.1.1.
14. Clancy III, T.C. (2006) Dynamic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks, Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
15. Roorda, P. (2011) Critical Issues for the Flexible Spectrum Network, JDSU White Paper, April.
16. ETSI TR 102 683 (2009) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Cognitive Pilot Channel (CPC)*, v1.1.1.
17. ETSI TR 103 063 (2011) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Use Cases for Reconfigurable Radio Systems Operating in IMT Bands and GSM Bands for Intra-operator Scenarios*, V1.1.1.

第 6 章　IEEE 1900.4

6.1　引言

在近些年来，接入网络演化出现了各种场景，其中单个基于 IP 的骨干向多接入网络（固定网和无线网）提供传输服务。认知无线电终端和网络的发展将在无线电接入网络中引入新的场景。

采用频谱感知的认知无线电终端和网络，频谱使用将在不同无线电接入网络（RAN）间被优化。可用频率将在不同 RAN 间共享，这取决于像位置、时间、实际策略、运营商间的协议等参数。频谱共享也将引入频谱租赁机会，这就带来机会性地将未用频谱提供用于租赁的可能性。

IEEE 标准 1900.4 是有关架构性构造块的，支持在异构无线接入网络中优化无线电资源用途的网络设备分布式做出决策，该标准是 2009 年发布的，是可重新配置无线电系统（RRS）[1]的一个 IEEE 标准。这个语境是有多个运营商和多个无线电接入网络（RAN）的一个异构环境。在这个场景中，一个基于 IP 的骨干向多个 RAN 提供传输服务。IEEE 1900.4 将可重新配置的无线电网络和终端的整体系统架构标准化，目标是整体无线电资源优化，同时维持所请求的服务质量（QoS）。

2011 年发布了 IEEE 1900.4 标准的一项补充标准 IEEE 1900.4a。IEEE 1900.4a 向 IEEE 1900.4 功能架构添加针对白空间频带中动态频谱接入网络的新实体。

本章描述 IEEE 1900.4 和 IEEE 1900.4a 功能实体，带有支持可重新配置无线电系统架构的功能实体。针对 IEEE 1900.4 和 IEEE 1900.4a 架构，给出例子和用例。这些是作者想出来的，不是来自标准的，意图是提供功能架构工作的高层次例子。

6.2　IEEE 动态频谱接入网络标准委员会（DySPAN-SC）

2005 年建立了 IEEE P1900 标准委员会，目的是为改进频谱使用而开发新标准。从 2005 年开始，IEEE 开始支持与认知无线电（CR）有关的项目 IEEE 1900P 系列项目。

2007 年，IEEE 1900 被重组为 IEEE 标准协调委员会 41（IEEE SCC41），建立的目标是开发与动态频谱接入网络有关的标准。为达到这个目标，新标准不得不引入新技术，这些技术能够管理干扰、共享信息、协调无线技术并管理一个多无线电

接入网络（多-RAN）[2]。IEEE 通信学会和 IEEE 电磁兼容学会支持 IEEE 1900，并继续支持 SCC41。

2010 年 12 月，IEEE SCC41 被重组为 IEEE 动态频谱接入网络标准委员会（DySPAN-SC），且其资助者变为 IEEE 通信学会标准开发董事会（CSDB）（IEEE Communications Society Standards Development Board）[3]。图 6.1 给出实际 DySPAN-SC 的历史。

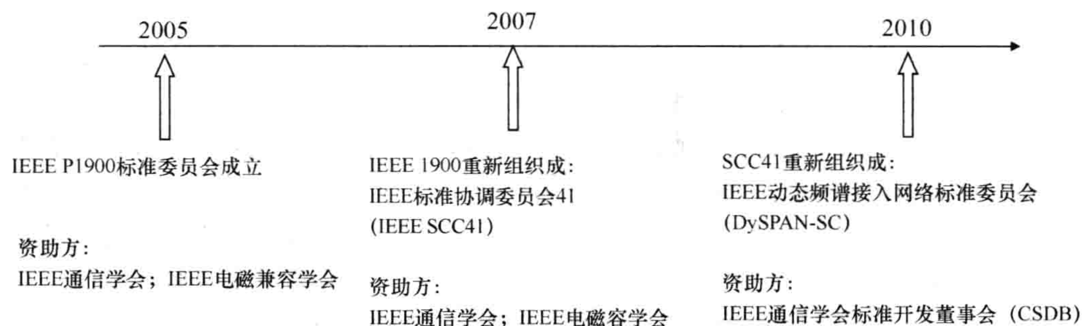


图 6.1　实际 DySPAN-SC 的历史

IEEE DySPAN-SC 包括如下工作组（WG）[3]：

- IEEE 1900.1：动态频谱接入定义和概念工作组：与正在成形的无线网络、系统功能和频谱管理有关的术语。IEEE 1900.1 标准发布于 2008 年。从 2011 年 2 月 2 日始，1900.1 工作组开始一个新的项目：
  - 1900.1a：IEEE 标准动态频谱接入定义和概念：与正在成形的无线网络、系统功能和频谱管理有关的术语。补充标准：新术语和相关联定义的添加。
- IEEE 1900.2：无线电系统之间带内和邻接频带干扰和共存分析建议实践工作组。IEEE 1900.1 标准发布于 2008 年，并为各种无线电接入技术场景间共存和干扰的分析提供指导。
- IEEE 1900.3：软件定义无线电（SDR）软件模块符合性评估建议实践工作组。这个 WG 已经被解散了。
- IEEE 1900.4 有关架构性构造块的工作组，支持在异构无线接入网络中优化的无线电资源用途的网络设备分布式做出决策。这个标准发布于 2009 年 2 月，并标准化了可重新配置无线电网络和终端的一个功能架构，这支持在异构接入网络连接到一个独特的基于分组的核心网的场景中无线电资源使用的优化。从 2009 年 4 月开始，1900.4 工作组开始两个项目：
  - 1900.4a：支持异构无线接入网络中优化无线电资源使用的网络-设备分布式决策的架构构造块标准——补充标准：白空间频带中动态频谱接入网络的架构和接口。
  - 1900.4.1：支持异构无线接入网络中优化无线电资源使用的网络-设备分

布式决策的接口和协议标准。

- 针对动态频谱接入应用而管理认知无线电的策略语言和策略架构的 IEEE 1900. 5 工作组。它定义了基于策略的控制架构厂商无关集合和相应的策略语言需求（用于管理动态频谱接入网络的功能和行为）[3]。1900. 5 WG 工作于另外两个项目：
  - ■ IEEE 1900. 5a：提供 P1900. 5 的一项补充标准，定义策略架构组件之间的接口描述。
  - ■ IEEE 1900. 5. 1：基于 IEEE 1900. 5 标准中定义的语言需求，为管理动态频谱接入网络的功能和行为，定义一个厂商无关的策略语言。
- 动态频谱接入和其他高级无线电通信系统之频谱感知接口和数据结构的 IEEE 1900. 6 工作组。这个标准发布于 2011 年 4 月，并定义交换感知相关信息所要求的接口和数据结构[4]。从 2011 年 6 月始，1900. 6 工作组就开始了 1900. 6a 项目，这是 1900. 6 的一个补充标准，它添加在频谱传感器和客户端之间交换传感相关的数据、控制数据和配置数据所需的规程、协议和消息格式规范。它也规范数据归档和其他数据源之间的接口。
  - ■ 1900. 6a：动态频谱接入和其他高级无线电通信系统之频谱感知接口和数据结构标准。补充标准：规程、协议和数据归档增强接口。
- IEEE 1900. 7：白空间无线电工作组。正在开发，处理的是支持固定和移动运营的白空间动态频谱接入无线电系统的无线电接口[3]。

图 6. 2 给出 IEEE DySPAN 标准委员会结构。

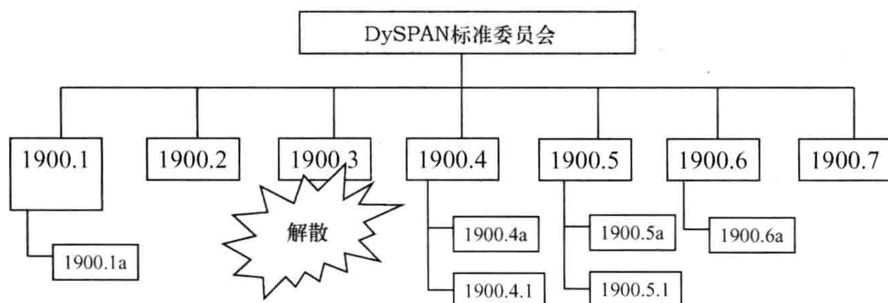


图 6. 2　IEEE DySPAN 标准委员会结构

6. 3　IEEE 1900. 4 功能架构

2009 年 2 月 IEEE 1900. 4 标准发布了可重新配置无线电网络和终端的一种功能架构，支持各异构接入网络连接到一个独特的基于分组的核心网场景中无线电资源使用的优化，如图 6. 3 所示。不同无线电接入网络可属于相同或不同运营商，并包括不同类型的接入网络节点，像遗留的 GSM 基站（BS）、UMTS NB、LTE eNB、多

无线电接入技术（多-RAT）可重新配置无线基站（RBS）、认知无线电 BS、接入点（AP）等。假定现有和新的无线电接入网络（RAN）可共存并通过这样一个架构集成在一起，该架构可依据频谱策略和用户需要，全局地和动态地优化无线电资源。在 IEEE 1900.4 中这个多无线电接入网络被命名为复合无线网络（CWN）。

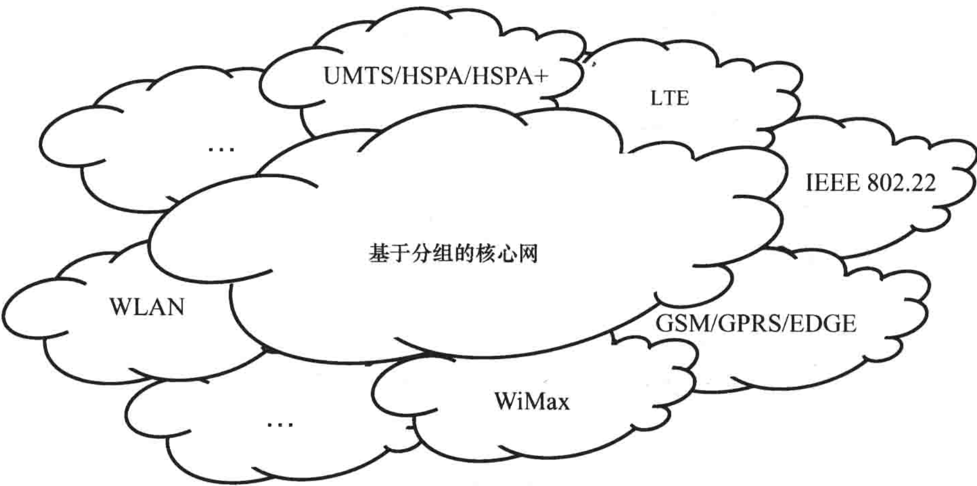


图 6.3 异构接入网络场景

不同类型的无线电终端工作在这个多-RAN 场景中，例如遗留的 2G/3G 终端、认知设备和多-RAT 可重构无线电设备。各终端可直接与接入网络节点或直接链路通信。其中一些终端也支持与不同无线电接入网络（RAN）的多条连接。各连接遵循服务相关的 QoS 参数和与（例如）用户概要、所用 RAN 等有关的其他策略。

为管理可重新配置的节点，接入网络节点被连接到几台服务器。一些服务器指派频谱策略，且也可灵活地管理分配给各 RAN 的频谱，即使在各 RAN 属于不同运营商时也可做到这点。可允许或禁止频谱共享和频谱租赁，且主辅频谱用途可采用确定的规则在频带的一些部分进行设置。可依据监管机构政策[5,6]，改变频谱使用的规则。

图 6.4 给出单运营商场景情形下可重新配置无线电系统的 IEEE 1900.4 功能架构[1]。运营商功能架构包括如下功能块：

- 运营商频谱管理器（OSM）：是管理运营商频谱资源的实体。它实施由监管机构确定并由运营商选择的频谱政策。它知道当前的频谱指派，包括主辅频谱用途。此外，如果可用的话，则它可与其他运营商交易频谱。OSM 在做出决策（例如 RAN 重新配置决策）的过程中得到来自 NRM 信息的辅助。
- 网络重新配置管理器（NRM）：它管理复合无线网络和终端，以便联合地优化无线电接入网络的无线电资源，同时保障所需的服务质量（QoS）。NRM 从 OSM 得到频谱指派策略，并从终端重新配合管理器（TRM）和 RAN 测量数据收集

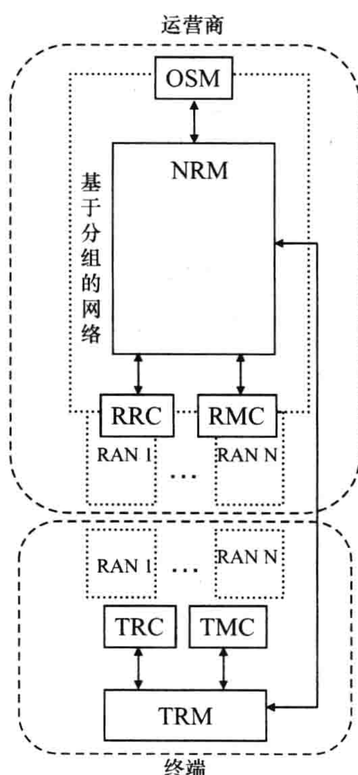


图 6. 4　单运营商场景情形下可重新配置无线电系统管理和控制的高层次 IEEE 1900. 4 功能架构

器（RMC）处接收语境信息。NRM 产生并发送无线电资源选择策略到 TRM，它是终端生成终端重新配置决策的框架。NRM 也将资源选择策略发送到 RAN 重新配置控制器（RRC）。在一个多运营商场景中，为了频谱和无线电资源的联合管理和优化，语境信息、频谱指派策略、无线电资源选择策略和重新配置决策是在不同 NRM 间交换的。多运营商场景的情形在后面的图 6. 6 中示出。

- RAN 测量数据收集器（RMC）：它收集无线电接入网络语境信息，并将之发送给 NRM。
- RAN 重新配置控制器（RRC）：是这样一个实体，它基于来自 NRM 的资源选择策略，控制不同 RAN 的重新配置。

终端功能架构包括如下块：

- 终端重新配置管理器（TRM）：它管理终端重新配置。为了优化无线电资源（包括频谱使用），它与网络重新配置管理器（NRM）通信。它确定终端重新配置，并选择最合适的 RAN。为做到这点，它从终端测量数据收集器（TMC）处接收语境信息。
- 终端重新配置控制器（TRC）：在来自 TRM 的请求的基础上，它控制重新

配置。

- 终端测量数据收集器（TMC）：为得到语境信息，它收集测量数据。TMC向 TRM 提供语境信息。

图 6.5 给出运营商和终端功能块间信息交换的一个例子。

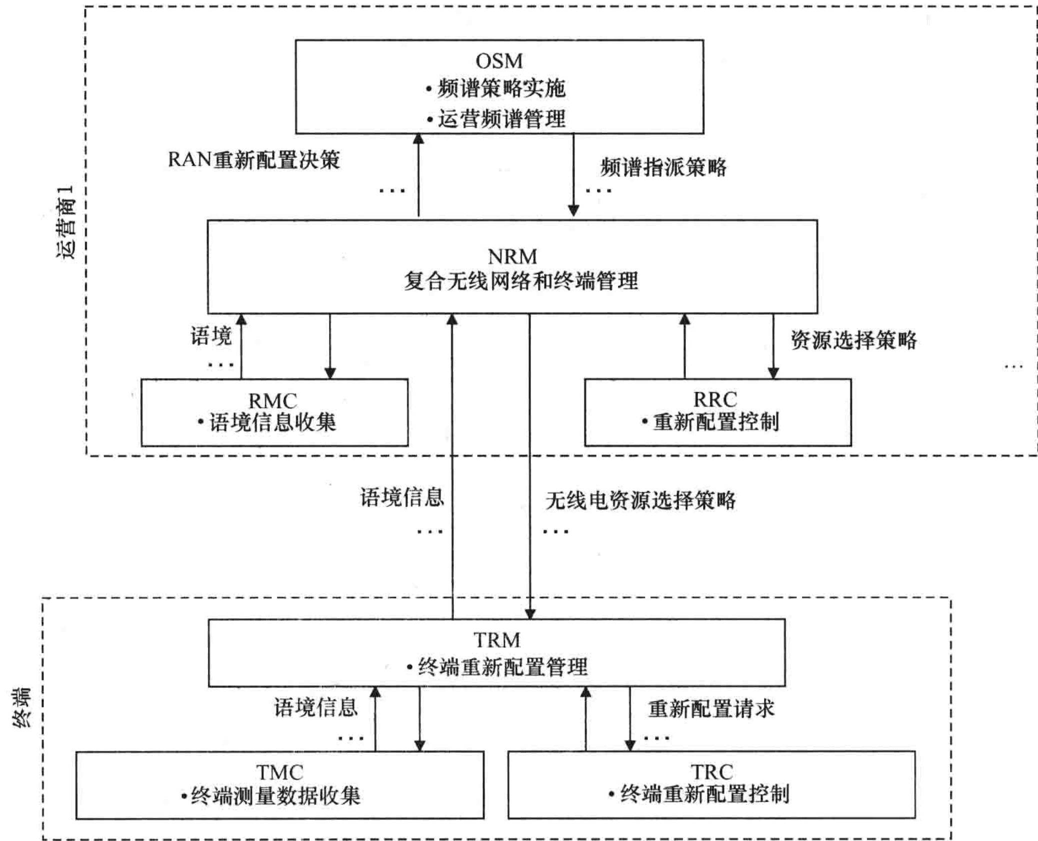


图 6.5　运营商和终端功能块间信息交换的例子

如果存在两个运营商，则运营商的功能块之间的通信支持整体无线电资源的联合优化。图 6.6 给出两个运营商在相应网络重新配置管理器之间通信的情形。

6.3.1　运营商频谱管理器实体

OSM 是管理运营商频谱资源的实体。它实施由监管机构确定并由运营商选择的频谱策略，且如果支持的话，运营商与其他运营商交易频谱。OSM 由网络重新配置管理器（NRM）控制到不同 RAN 的频谱指派。它从 NRM 接收 RAN 重新配置决策，并发送频谱指派策略。

图 6.7 给出带有接口的 OSM 功能。在图 6.7 中，给出两个运营商的 OSM，表明在运营商间交易的频谱是通过 NRM 之间的通信由 OSM 处理的。事实上，在 IEEE 1900.4 架构中，不提供 OSM-OSM 接口。

运营商　　运营商

OSM　　OSM

语境信息
频谱指派策略
无线电资源选择策
略更新配置决策

NRM　　NRM

基于分组的网组　　基于分组的网组

RRC　RMC　　RRC　RMC

RAN 1 … RAN N　　RAN 1 … RAN N

RAN 1 … RAN N　　RAN 1 … RAN N

TRC　RMC　　TRC　RMC

TRM　　TRM

终端　　终端

图 6. 6　在一个多运营商场景的情形下可重新配置无线电系统管理和控制的高层次 IEEE 1900. 4 功能架构

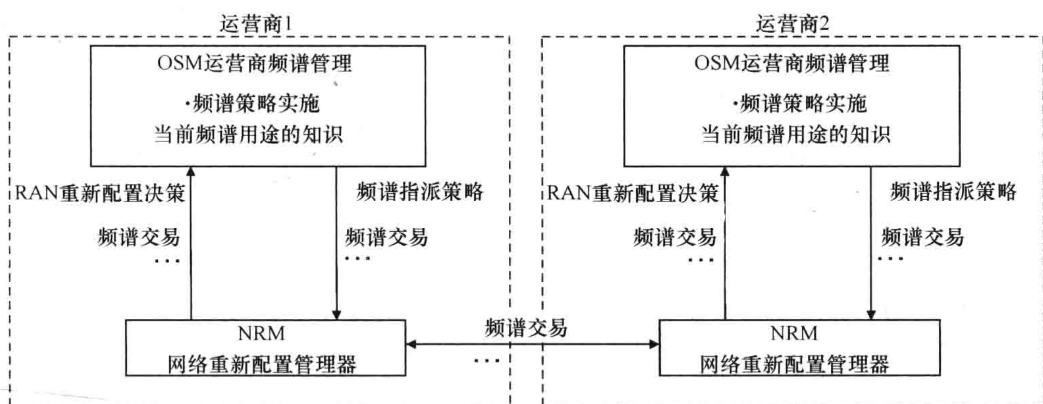


图 6. 7　带有接口的 OSM 功能

6.3.2　网络重新配置管理器实体

网络重新配置管理器（NRM）是这样一个实体，即为优化整体无线电参数，它将频谱指派给不同RAN，并管理无线电接入网络和终端的重新配置。它从RAN测量数据收集器（RMC）获取有关语境的信息（即在每个RAN和蜂窝中使用的资源，工作频率，每个RAN正以所提供QoS水平处理的流量等），涉及不同RAN的网元。它也从各终端的TRM获取信息和测量结果（即所用资源和频率、能力、当前配置和重新配置能力等）。除了RAN网元的重新配置能力外，NRM从RAN重新配置控制器（RRC）接收RAN网元的当前配置。

之后NRM运行一个自优化过程，这得到面向RAN节点的重新配置动作。由NRM采取的决策也考虑到网络运营商策略，这涉及优化和协商算法、有关用户分类的准则、QoS、针对某些服务的RAN首选项等。NRM模块的输出向RMC、RRC和移动设备的TRM提供输入。对于RRC，它请求某些RAN的新的重新配置；对于RMC，为实施正确的测量，它给出新的无线电参数（即重新指派的频率）；对于TRM，为在终端的重新配置中引导它们，它给出无线电资源选择策略。

如果支持网络运营商之间的协作，则为了避免干扰和联合优化网络性能，各NRM之间的接口可被用来交换有关网络配置和规划的信息。图6.8给出带有接口的NRM功能。

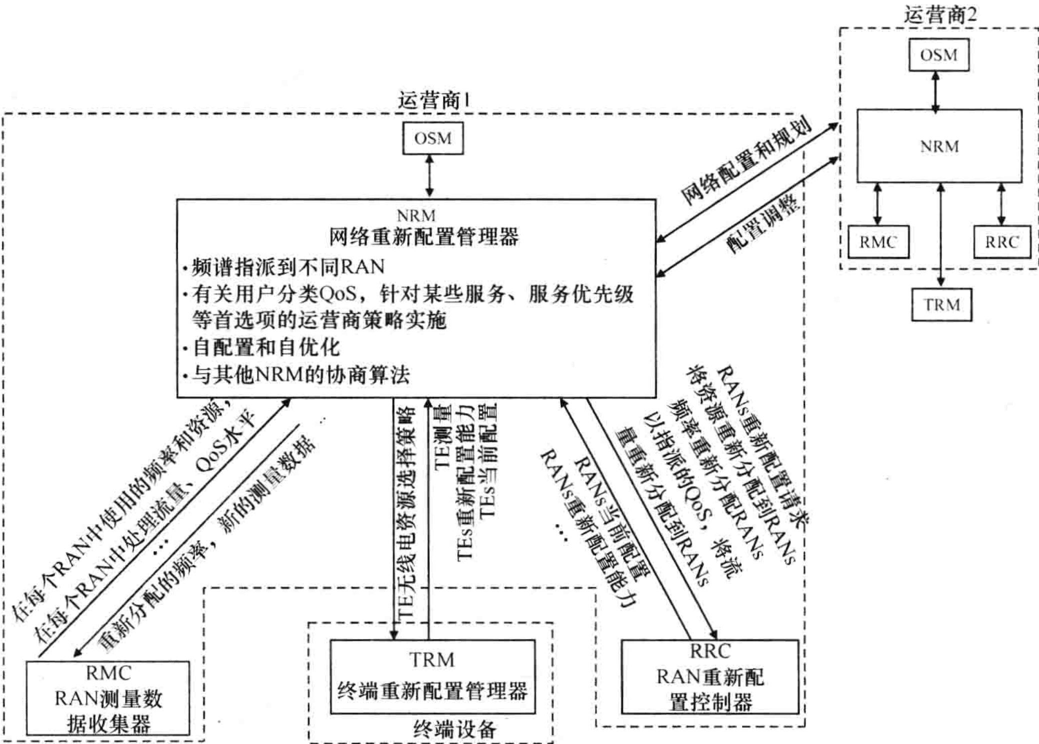


图6.8　带有接口的NRM功能

6. 3. 3　RAN 重新配置控制器和 RAN 测量数据收集器实体

RAN 重新配置控制器（RRC）是负责 RAN 单元配置的实体。它可以中心方式位于一个特定节点或它可以是分布式的，即一个 RRC 实例可活跃于每个基站或一般而言活跃于每个可重新配置的节点之中。RRC 从网络重新配置管理器接收指令，并报告有关当前配置的信息。它控制将资源重新分配给各 RAN。

RAN 测量数据收集器（RMC）收集 RAN 语境信息，并将这样的信息发送给 NRM。它可以是以中心方式处于一个独特节点之中或可以是分布式的，即一个 RMC 实例可活跃于每个基站或一般而言活跃于每个可重新配置的节点之中。图 6. 9 给出带有接口的 RRC 和 RMC 功能。

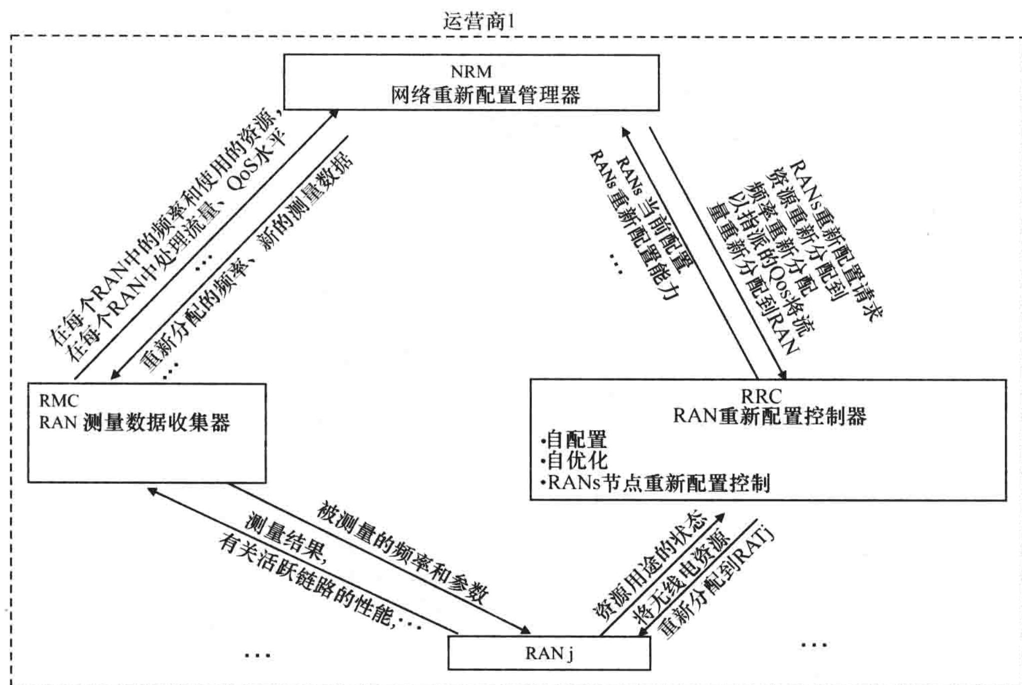


图 6. 9　带有接口的 RRC 和 RMC 功能

6. 3. 4　终端设备实体

假定终端是一台多标准设备，能够遵循网络参数的重新配置和频谱利用方面的变化。在 IEEE 1900. 4 功能架构中，在终端设备中提供三个实体。

终端重新配置管理器（TRM）是管理终端的重新配置的实体。它从终端测量数据收集器（TMC）获取有关语境的信息，并从终端重新配置控制器（TRC）接收终端的当前配置和重新配置能力。TRM 也从网络重新配置管理器（NRM）接收无线电资源选择策略。TRM 的输出为移动设备的 TRC 和 TMC 提供输入。对于

TRC，它请求终端重新配置；对于 TMC，它订购新的测量数据。图 6.10 给出带有接口的终端设备中的各实体。

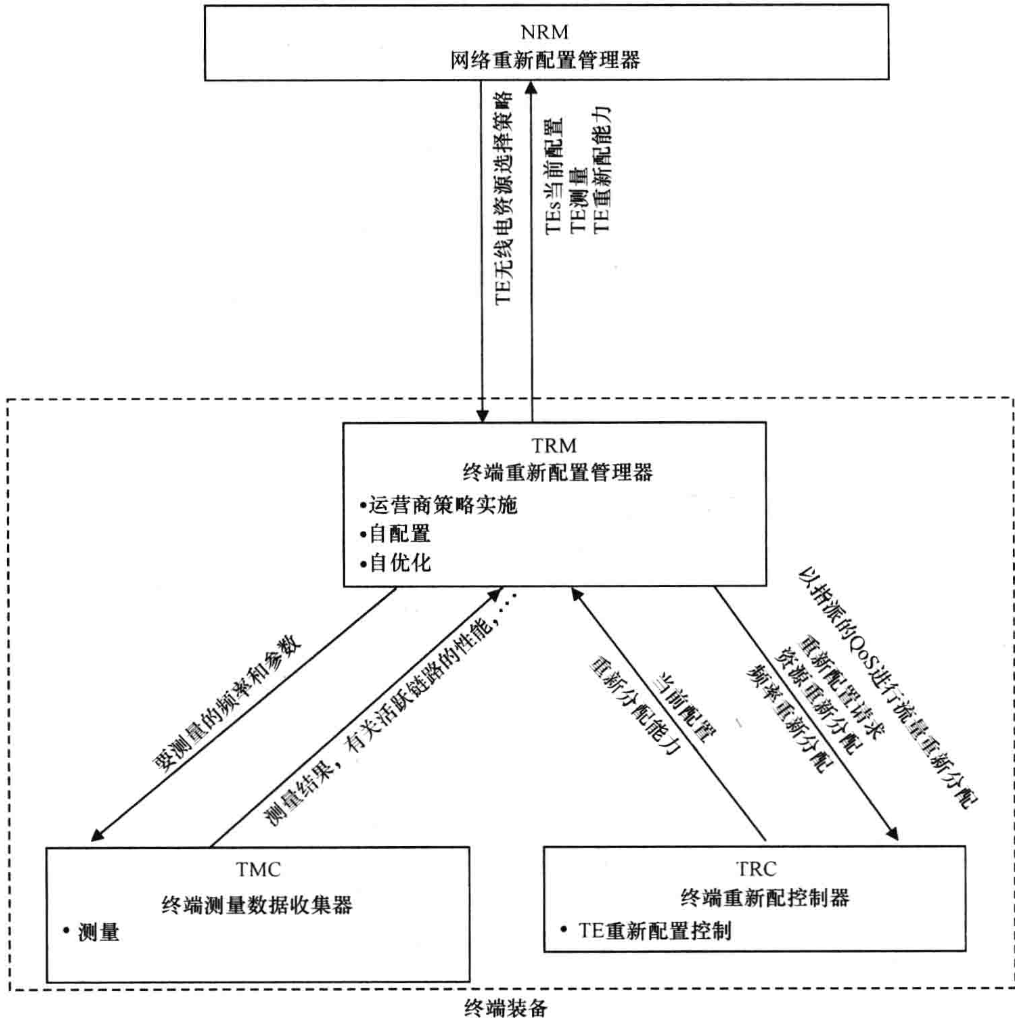


图 6.10 带有接口的终端设备中的各实体

6.3.5 IEEE 1900.4 和 ETSI RRS 功能架构比较

针对可重新配置无线电系统，IEEE 1900.4 功能架构在 ETSI 内提出一个等价的功能架构（EA），在本书第 5 章做了描述。ETSI RRS FA 如图 6.11 所示，并包括如下功能块：

• DSM（动态频谱管理）：它管理运营商频谱资源。它向动态自组织网络规划管理（DSONPM）提供带宽分配，DSONPM 维护更新过的语境，并将可用的频谱量赋予每个 RAT。此外，如果有富裕频谱的话，它将之与其他运营商做交易。在决

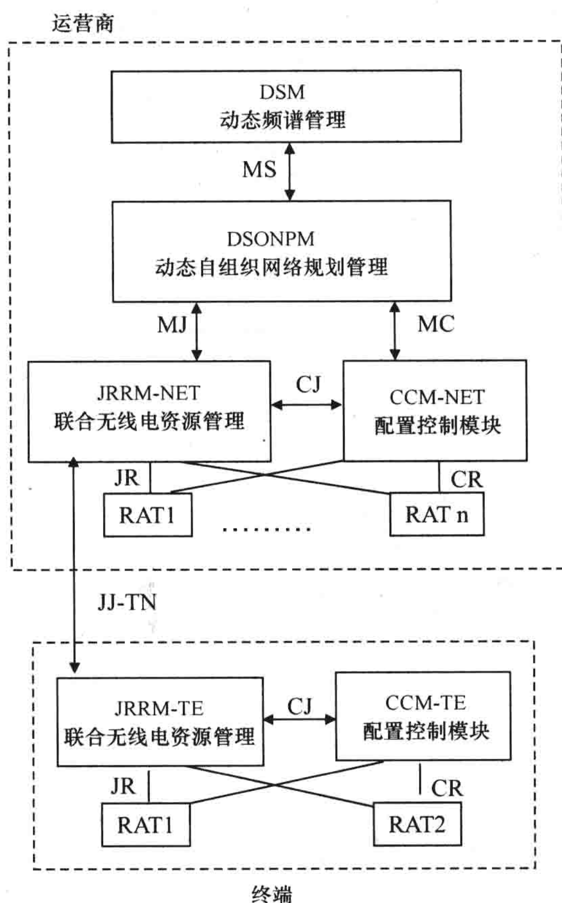


图 6. 11　ETSI RRS 标准架构

策过程中，DSM 得到来自 DSONPM 实体的信息的辅助，DSONPM 实体向 DSM 提供指示器，像频谱效率、空间频谱使用情况等。DSM 和 DSONPM 之间的消息是通过 MS 接口交换的。

- DSONPM（动态自组织网络规划管理）：它为多- RAT 网络规划长期重新配置动作。它从配置控制模块（CCM）接收当前配置和移动设备能力。DSONPM 从 JRRM 接收有关语境以及移动站之所用资源和频率的信息。之后，它运行一个自优化过程，导致 RAT 网络节点和移动终端的重新配置。
- CCM（配置控制模块）：它是在网络侧和终端侧实现的，并控制网络和终端的重新配置。
- JRRM（联合无线电资源管理）：它是在网络侧和终端侧实现的，并管理网络和终端的无线电资源。

ETSI 架构的功能块是通过标准接口连接的。

图6.12表明，在ETSI和IEEE中提出的功能架构包括不同的功能块，有一些重叠的功能特征，这得到可重新配置无线电系统的等价架构[7]。表6.1给出可重新配置无线电系统之ETSI和IEEE功能块的特征间的对应关系[7]。

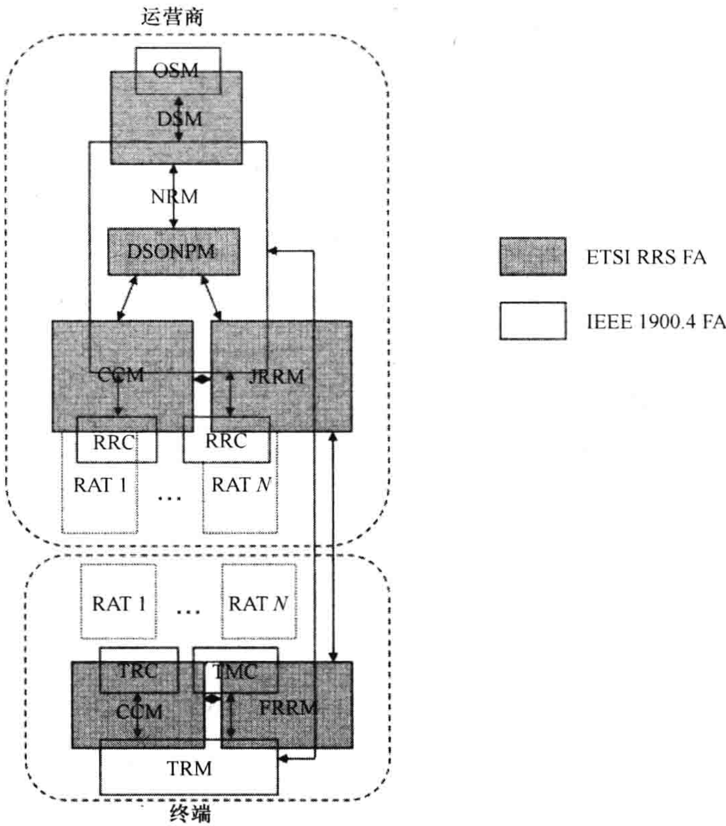


图6.12　IEEE 1900.4和ETSI RRS功能架构比较

表6.1　IEEE 1900.4 FA和ETSI RRS FA之间的关系

IEEE 1900.4 FA	ETSI RRS FA
NRM	• DSM的一部分，负责就RAT之间频谱的分布做出决策 • DSONMP • 网络JRRM，例外是： ■ 在网络侧从不同RAT得到语境信息 • CCM的一部分，负责基站自配置和自优化的运行
RRC	• 网络CCM，例外是： ■ 包括在NRM中的部分 ■ 在网络侧负责从不同RAT得到语境信息的部分
RMC	• 网络CCM的一部分，负责在网络侧从不同RAT得到语境信息 • 网络JRRM的一部分，负责在网络侧从不同RAT得到语境信息

（续）

IEEE 1900.4 FA	ETSI RRS FA
TRM	• 终端 CCM 功能的一部分，负责自配置和自优化 • 终端 JRRM，例外是在终端中从不同 RAT 得到语境信息
TRC	• 终端 CCM，例外是： ■ 包括在 TRM 中的部分 ■ 在终端中负责从不同 RAT 得到语境信息的部分
TMC	• 终端 CCM 的一部分，负责在终端中从不同 RAT 得到语境信息 • 终端 JRRM 的一部分，负责在终端中从不同 RAT 得到语境信息
OSM	• DSM 的一部分，负责得到法规框架和运营商之间的频谱交易

OSM 功能被包括在 DSM 中，DSM 也包括 NRM 功能的一部分。NRM 实现 DSONPM 以及 CCM 和 JRRM 功能的一部分。RRC 功能实现在网络侧的 CCM 中。RMC 包括网络侧 CCM 和 JRRM 功能的一部分。在终端侧，CCM 包括 TRC 以及 TRM 和 TMC 的一部分；JRRM 包括 TMC 和 TRM 功能的一部分。表 6.1 给出 IEEE 1900.4 FA 和 ETSI RS FA 模块之间的关系。

6.3.6 IEEE 1900.4 功能架构的用例

所提用例所考虑的场景是由同一个运营商管理的一个异构无线电接入网络。频谱共享功能支持无线电接入网络（RAN）间动态地分布频谱资源，目标是无线电资源优化。

在给定场景中涉及的实体，在运营商网络侧，有属于无线接入网络（RAN）的无线电基站、RAN 测量数据收集器（RMC）、RAN 重新配置控制器（RRC）、网络重新配置管理器（NRM）和运营商频谱管理器（OSM）。各 RBS 可被看作装备有硬件处理资源（HPR）的可重新配置节点，这些 HPR 是在不同无线电接入技术（RAT）（像 GSM/GPRS/EDGE、UMTS/HSPA/HSPA +、LTE/LTE 高级版本等）间共享的。每个 RAT 是一项无线电应用，它使用一定量的 HPR，这要取决于无线电参数的配置、正在进行的流量总量等。HPR 连接到无线电频率（RF）块，RF 块连接到天线，并能够同时支持不同 RAT。

在终端侧，终端设备（TE）包括终端重新配置控制器（TRC）、终端测量数据收集器（TMC）和终端重新配置管理器（TRM）。

NRM 具有将频谱指派给不同 RAN 和评估可能 RBS 重新配置的任务；RRC 联合地处理 RAN 无线电资源、实施无线电载波控制、无线电接纳控制、上行链路和下行链路中资源的调度、负载均衡等。最后，RMC 收集测量数据，并将语境提供给 NRM。RMC 和 RRC 可以实现在 RBS 内部或可以是外部实体。

在所述用例中，RBS、RMC 和 RRC 是三个不同实体。本节中的用例是作者的

提议，而不是标准。所提用例与如下方面有关：

- 终端上电和 RAN 选择。在这种情形中，选择一个主网络。可能的配置有两个：网络驱动的或终端驱动的。在第一种情形（网络驱动）中，网络是语境和终端能力感知的，并确定终端将与哪个无线电接入网络关联，和采用相应无线电参数配置用于数据传输。在这种情形中，为优化全局网络性能，由网络做出选择。在第二种情形（终端驱动）中，取决于语境，终端为关联和数据传输选择 RAN。终端做出优化其自身资源的选择。
- 频谱共享。这个用例处理一种系统内无线电资源重新配置，其中各 RBS 属于同一个运营商以及依据流量需要指派给 RAN1 的频谱发生变化。
- 在同一个 RBS 的不同 RAT 之间灵活的频谱分配。
- 采用 RBS 软件重新配置的无线电资源优化规程。

图 6.13 给出与终端上电和网络驱动 RAN 选择情形有关的高层次信息流的一个例子。在上电之后，终端做出无线电测量，并将测量结果（除了其能力外）发送给 NRM。在网络侧和终端侧，NRM 从 OSM 接收策略，从测量数据收集器接收语境信息。NRM 运营无线电资源优化算法，为优化网络无线电资源的终端操作选择 RAN。

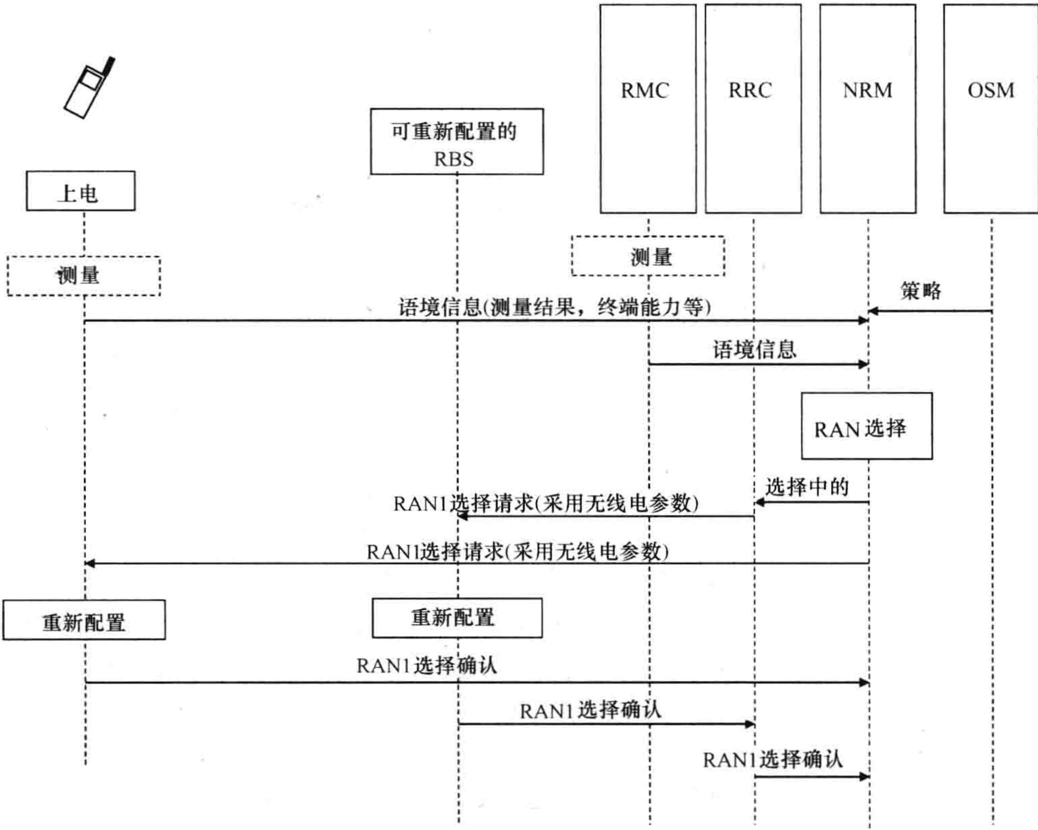


图 6.13　与终端上电和网络驱动 RAN 选择情形有关的高层次信息流的例子

从 NRM 将这个信息传递给 RRC，RRC 为 RAN1 上的终端操作控制 RBS 无线电参数的重新配置。在同一时间，NRM 在 RAN1 上发送操作请求到终端。在 RBS 和终端无线电资源的重新配置之后，确认 RAN1 的选择。

图 6.14 给出与终端上电和终端驱动 RAN 选择情形有关的高层次信息流的一个例子。在上电之后，终端做出自自己的测量，并从网络资源管理器接收语境信息。之后它为优化其无线电参数的无线电接入网络的选择，运行一个自优化算法。它将选中的 RAN 发送到 NRM，启动被选 RAN 上终端的操作重新配置。

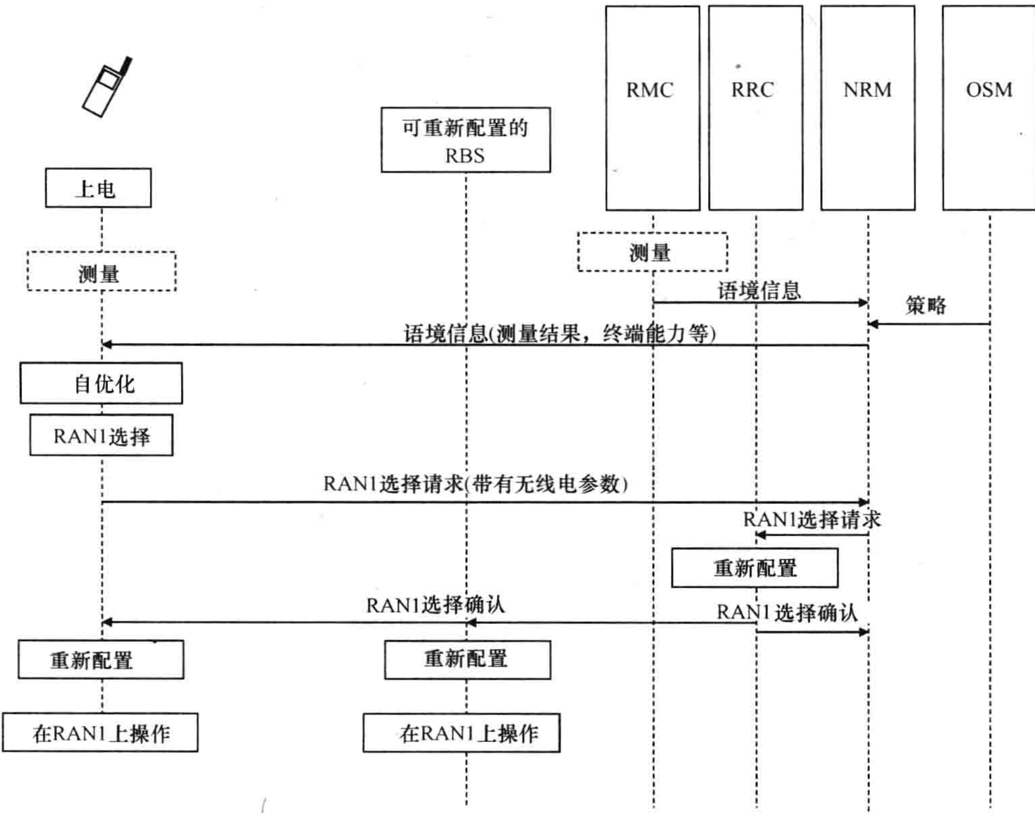


图 6.14 与终端上电和终端驱动 RAN 选择情形有关的高层次信息流的例子

图 6.15 给出与系统内无线电资源重新配置情形有关的高层次信息的一个例子。在图中，RBS1 的 RAN1（即 UMTS）正在使用频带 B1（即 5MHz 的两个载波）；RBS2 的 RAN2（即 UMTS）正在使用 B2（5MHz 的一个载波）。NRM 实体的无线电资源优化功能确定需要两个 RBS 之间频谱共享，且必须向 RBS2 添加一个载波，从 RBS1 去除一个载波。将 RBS 重新配置命令从 RRC 发送到 RBS1 和 RBS2，且在这两个基站之间成功地重新指派频谱。此后，采用频谱共享结果更新 OSM。

图 6.16 给出同一 RBS 的不同 RAN 之间的灵活频谱分配的一个例子。在图中，可重新配置无线电基站（RBS）是同时在带宽 B1 运行 RAN1（即 UMTS）和在带

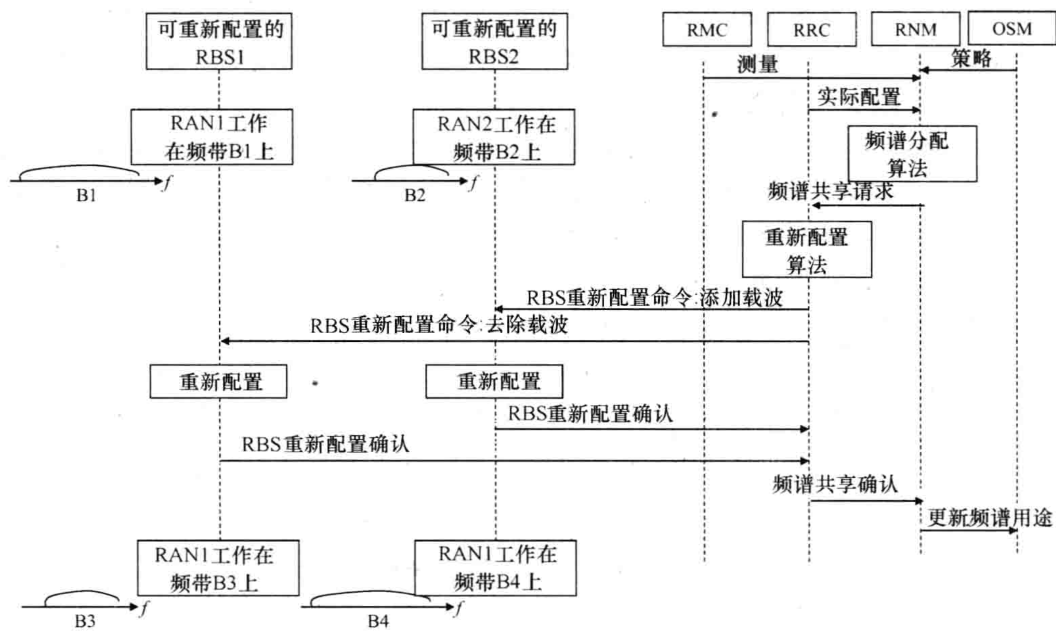


图 6.15 系统内无线电资源重新配置用例的高层信息流的例子

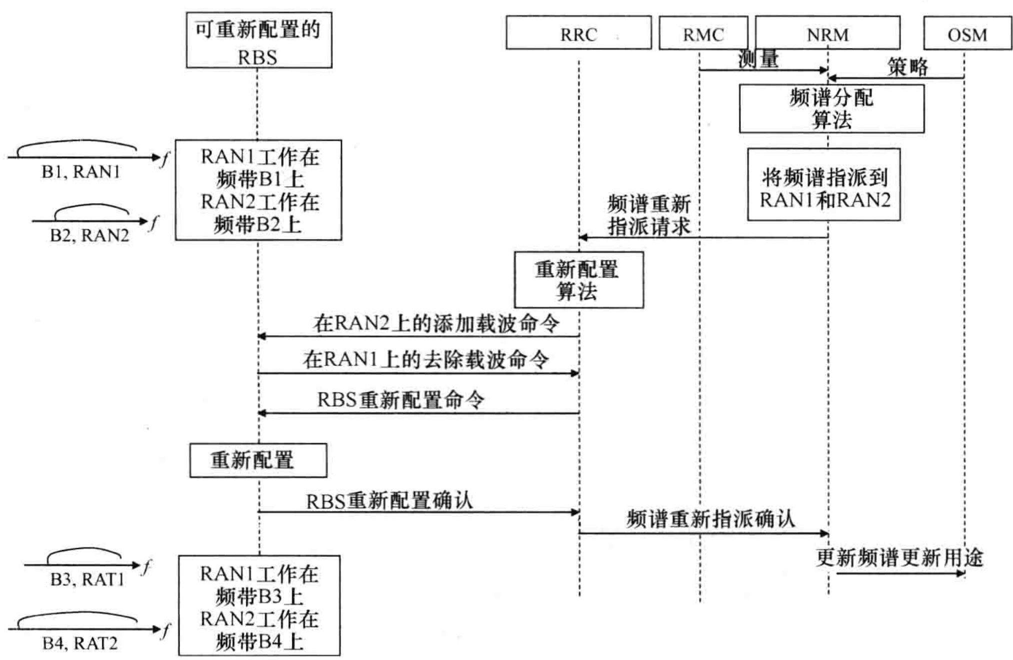


图 6.16 同一 RBS 的不同 RAN 之间灵活的频谱分配的高层信息流的例子

宽 B2（即 GSM）运行 RAN2 的。NRM 的频谱分配功能确定在 RAN1 和 RAN2 之间重新分配频谱。NRM 将频谱重新分配情况传递给 RRC。RRC 重新配置算法在新频带确定 RAN1 和 RAN2 操作的无线电参数。将一条 RBS 重新配置命令发送到 RBS1，

且频谱成功地在这两项无线电接入技术之间进行指派。采用成功的频谱重新指派更新 NRM 和 OSM。

最后提出的用例是无线电资源优化规程的一个例子。高层信息流如图 6. 17 所示。在正在进行的阶段过程中，终端使用 RAN2 进行数据传输。NRM 从 OSM 接收策略，从在网络侧和终端侧的测量数据收集器接收语境信息。NRM 运行无线电资源优化算法，算法给出 RAN3 是首选的。从 NRM 将这个信息传递给 RRC，RRC 控制从 RAN2 到 RAN3 操作的 RBS 无线电参数的重新配置。同时，NRM 将 RAN3 选择的一条请求发送给终端。在 RBS 和终端无线电资源的重新配置之后，确认 RAN3 的选择。

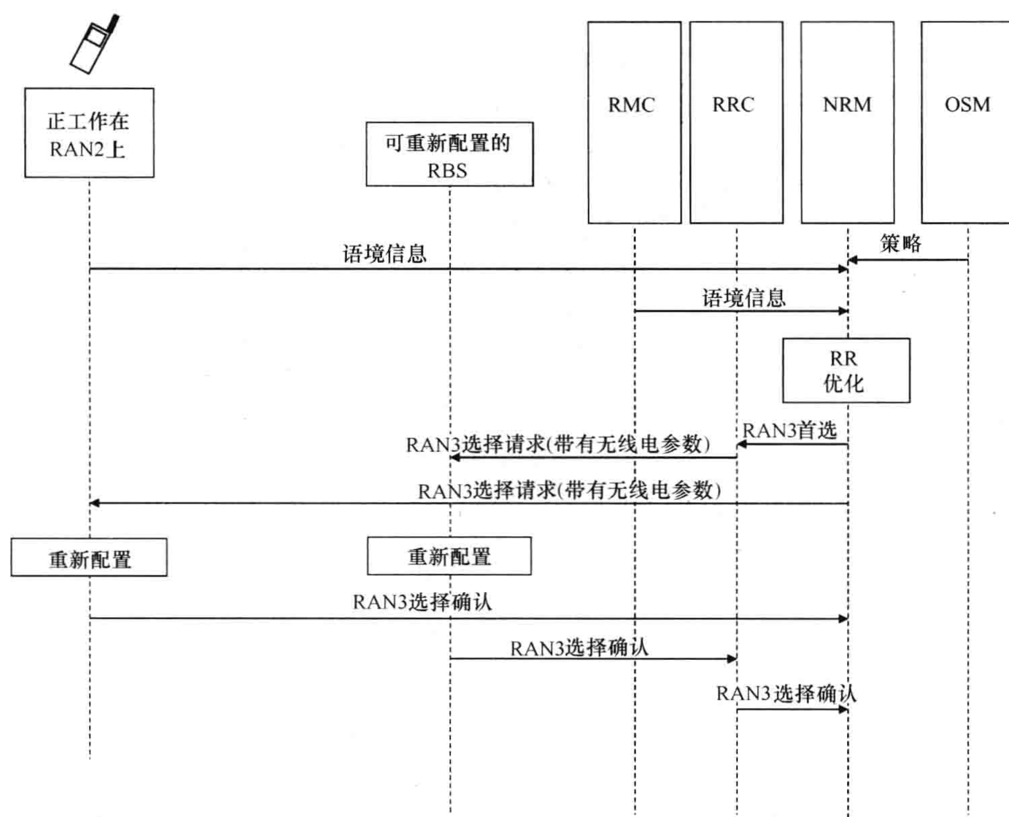


图 6. 17　无线电资源优化之高层信息流的例子

6. 4　IEEE 1900. 4a 功能架构

2011 年发布了 IEEE 1900. 4a 标准的一项补充标准，它定义了白空间频带中动态频谱接入网络的架构和接口[8]。白空间指在从模拟到数字的电视频道转换中，在 VHF 和 UHF 频带中剩下的可用频谱部分。对于无线电频谱这个有价值部分的优

化利用，白空间的高效使用是非常重要的。IEEE 1900.4a 将一些块引入到 IEEE 1900.4 功能架构，在对所用无线电接口没有任何限制的条件下，这些块支持白空间传输。IEEE 1900.4a 功能架构（FA）如图 6.18 所示。

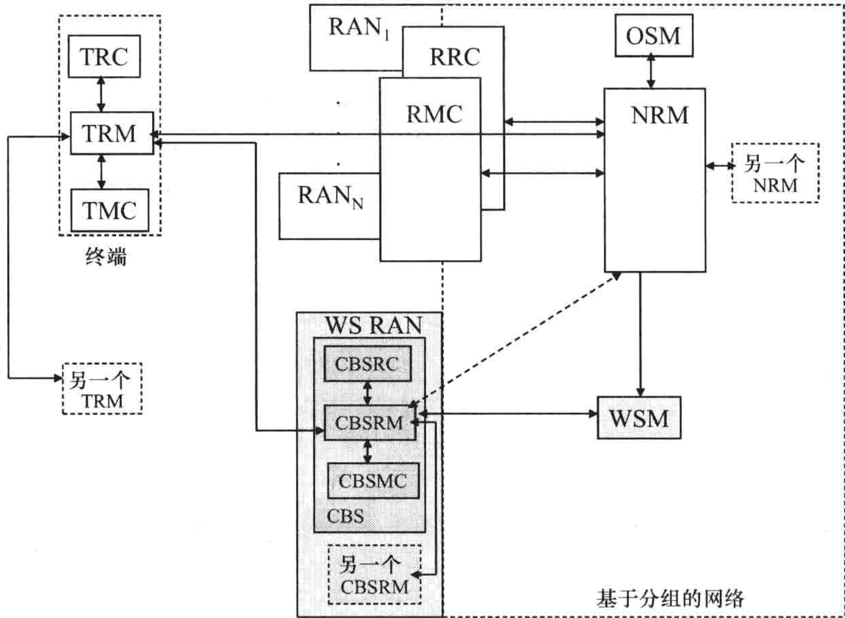


图 6.18　白空间频带中动态频谱接入网络的高层 IEEE 1900.4a 功能架构和接口

在图 6.18 中，IEEE 1900.4 功能架构被添加到一个白空间（White Space，WS）无线电接入网络（RAN），有如下功能块：

- 认知基站（Cognitive Base Station，CBS）：是能够使用白空间的一台基站，对主用户（即现有 RAN）没有干扰。
- CBS 重新配置管理器（CBSRM）：它管理 CBS 的重新配置。在优化过程中，它得到来自 CBS 所提供语境信息和来自认知终端之信息的辅助。特别地，CBSRM 和 TRM 交换有关白空间资源分类的信息，目的是支持认知网络作为一个辅助网络存在，而不造成主用户的干扰。CBSRM 与遗留无线电接入网络之网络重新配置管理器（NRM）的联系，保障在有许可证 RAN 之需先据资源的联合优化下白空间频谱的优化使用。CBSRM 从白空间管理器（WSM）接收法规语境，并以相对功率发送所用频率进行白空间数据库更新。为协调使用白空间，它与其他 CBSRM 通信。
- CBS 测量数据收集器（CBSMC）：它收集 CBS 语境信息，并将之发送到 CBSRM。
- CBS 重新配置控制器（CBSRC）：它从 CBSRM 接收重新配置请求，并控制无线电接入网络重新配置。
- 白空间管理器（WSM）：它提供法规语境，像二级用途的可用频率和相对允许功率等。它作为一个白空间数据库。它支持 IEEE 1900.4a 和 IEEE 1900.4 系

统之间的协同。

在终端侧，IEEE 1900.4a 架构的功能块与 IEEE 1900.4 的相同。终端侧的中心功能块是终端重新配置管理器（TRM），为了优化白空间频带中的频谱使用无线电参数，它与网络侧的 CBSRM 通信。认知无线电设备的 TRM 可直接通信交换测量数据、频谱感知结果和语境信息（即地理位置信息、终端能力等）。为了协商白空间的使用，一个白空间网络的各 CBSRM 也可与其他 CBSRM 通信。它们实施从白空间管理器接收的策略，并传递所用频谱和相关无线电参数（即最大发送功率）。图 6.19 给出添加在 IEEE 1900.4 架构的各功能块间交换的信息的一个例子。

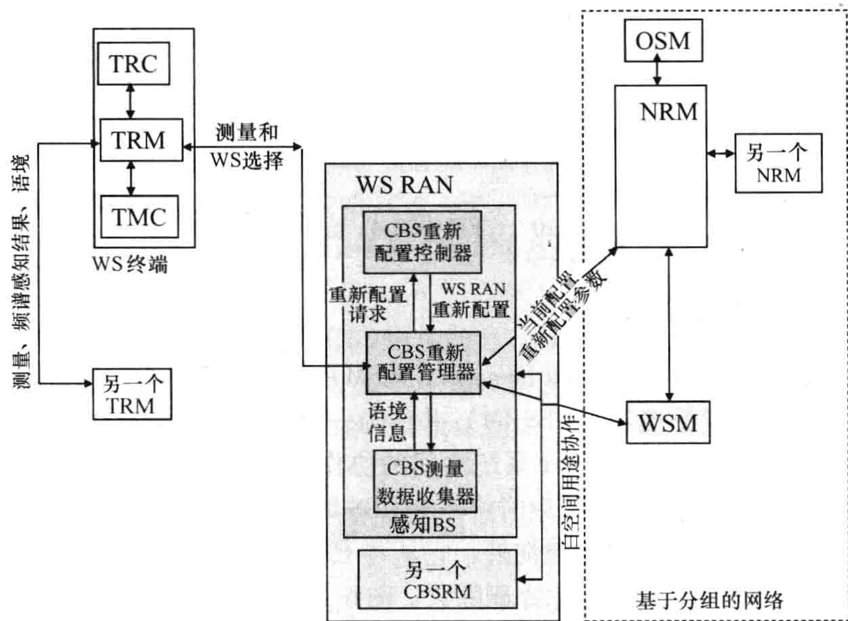


图 6.19　IEEE 1900.4 架构之功能块间信息交换的例子

IEEE 1900.4a 功能架构支持这样一个场景，其中一个可重新配置的无线电设备能够同时与一个白空间二级网络和一个主网络通信。这个场景如图 6.20 所示。

在图 6.20 的例子中，给出三个网络：白空间（WS）无线系统 A；运营商 B 的复合无线网络（Composite Wireless Network，CWN），包括由一个网络资源管理器（NRM）管理的一个无线系统和无线电接入网络（RAN）；运营商 C 的遗留 RAN 的 CWN。在这个场景中，终端 W 通过运营商 A 的 WS RAN 运行在 WS 频率 WS1；终端 X 通过运营商 A 和 B 的 WS RAN 运行在 WS 频率 WS2；终端 Y 通过运营商 B 的 WS RAN 运行在 WS 频率 WS3；终端 Z 通过运营商 B 的 WS RAN 运行在 WS 频率 WS3、通过相同运营商（B）的 RANB 运行在频率 F1；终端 K 运行在运营商 B 之 RANB 的 F1、运营商 C 之 RANC1 的 F2。之后，IEEE 1900.4a 功能架构支持与其他 1900.4a 功能架构、IEEE 1900.4 系统以及非-IEEE 1900.4 系统（在图中没有给出这种情形）共享的频谱[8]。

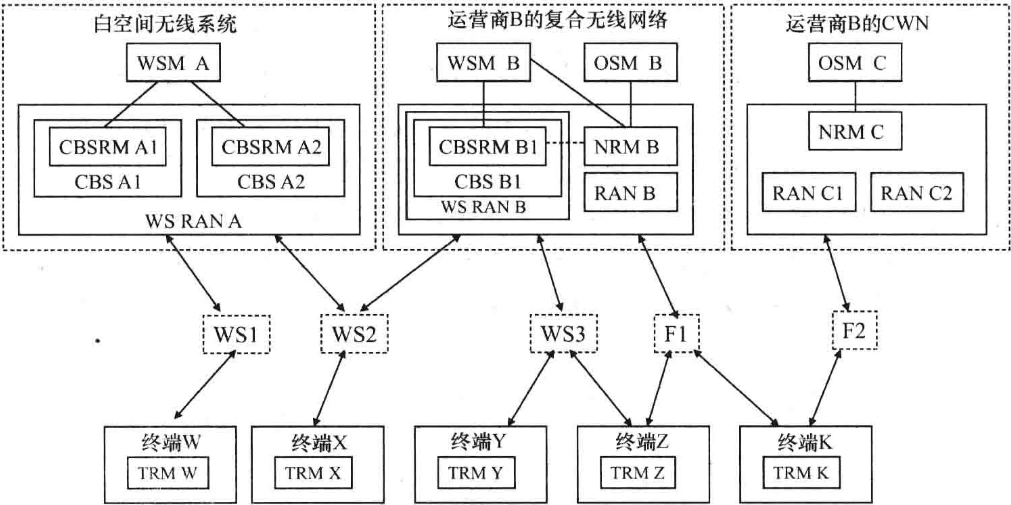


图 6.20 IEEE 1900.4a 场景例子

6.4.1 白空间管理器实体

白空间管理器（White Space Manager，WSM）是将监管机构的白空间策略提供给认知基站重新配置管理器（CBSRM）并作为一个白空间数据库的实体。它也支持 IEEE 1900.4 和 IEEE 1900.4a 系统之间的协作。WSM 与 CBS 重新配置管理器（CBSRM）通信，在注册规程结束时将一个 CBS 添加到 WS 数据库；除了得到邻居 CBS 列表、一个特定 CBS 等的查询外，它从各 CBS 接收语境和位置信息。在一个 CBS 销册之后，WSM 从 WS 数据库删除它。图 6.21 给出带有接口的 WSM 功能。

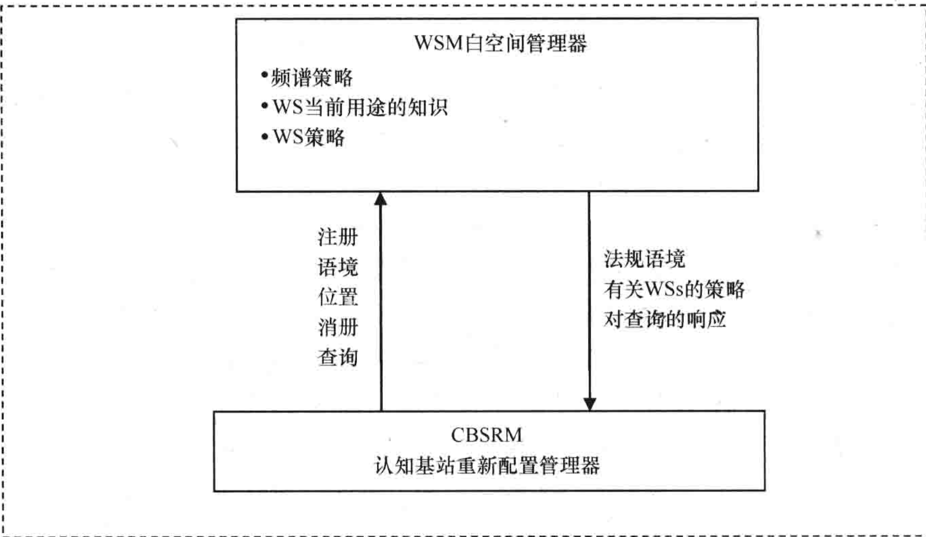


图 6.21 带有接口的 WSM 功能

6. 4. 2　认知基站

IEEE 1900. 4a 中的认知基站（CBS）是一个接入网络节点，它能够感知环境，并灵活地使用无线电频谱的白空间。认知基站能够自我重新配置和自优化。它包括三个功能实体：认知基站重新配置管理器（CBSRM）、认知基站重新配置控制器（CBSRC）和认知基站测量数据收集器（CBSMC）。

6. 4. 2. 1　认知基站实体

认知基站重新配置管理器（CBSRM）管理白空间（WS）资源使用情况。它分类各 WS，实施从 WSM 接收的 WS 策略，是由自配置和自优化算法提供的，并管理频谱感知测量。为确保主辅系统间的共存，它与终端重新配置管理器（TRM）通信，并与其他 CBSRM 和 NRM 协同工作。CBSRM 从 CBS 测量数据收集器（CB-SMC）得到语境信息，并能够请求它实施特定测量。在与其他 TRM 通信过程中，CBSRM 将其他相关语境信息发送给其他 CBS，并最终发送到其他终端。它也向 TRM 提供无线电资源选择策略。TRM 向 CBSRM 发送 WS 分类、测量数据、当前配置和重新配置能力。

CBSRM 与其他 CBSRM 交换 CBS 语境信息、终端语境信息、WS 数据库信息、重新配置决策等。它也被连接 CBS 重新配置控制器，以便发送 CBS 重新配置请求和指派 WS。图 6. 22 给出带有接口的 CBSRM 功能。

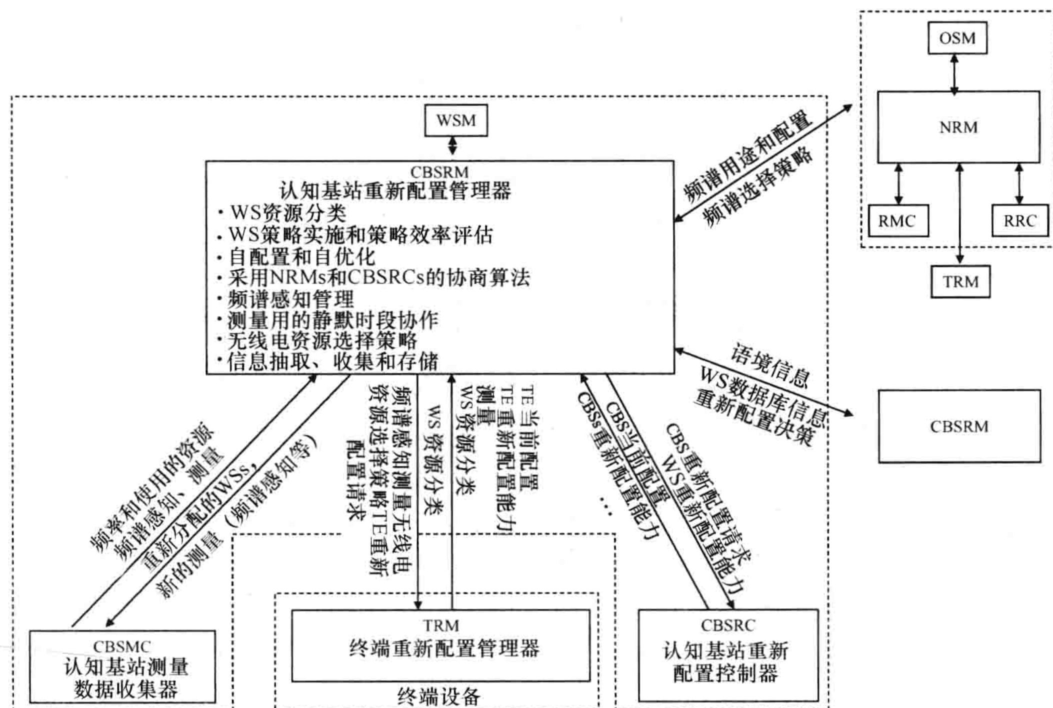


图 6. 22　带有接口的 CBSRM 功能

6.4.3 终端设备实体

假定终端是一台多标准设备，能够动态地改变所用频谱和无线电参数。和在IEEE 1900.4 FA 中一样，在 IEEE 1900.4a 功能架构（FA）中，在终端设备中提供三个实体：终端重新配置管理器（TRM）、终端测量数据收集器（TMC）和终端重新配置控制器（TRC）。

终端重新配置管理器（TRM）是管理终端重新配置的实体。它从终端测量收集器（TMC）获取有关语境的信息，并从终端重新配置控制器（TRC）接收终端当前配置和重新配置能力。TRM 也从认知基站重新配置管理器（CBSRM）接收无线电资源选择策略。在 IEEE 1900.4a 架构中，在终端侧的 TRM 管理 WS 资源，实施从 CBSRM 接收到的策略。

TRM 的输出为移动设备的 TRC 和 TMC 提供输入。对于 TRC，它请求包括 WS 重新分配的终端重新配置；对于 TMC，它订购新的测量数据。此外，不同终端的各 TRM 可交换语境信息。图 6.23 给出带有接口的终端设备中的实体。

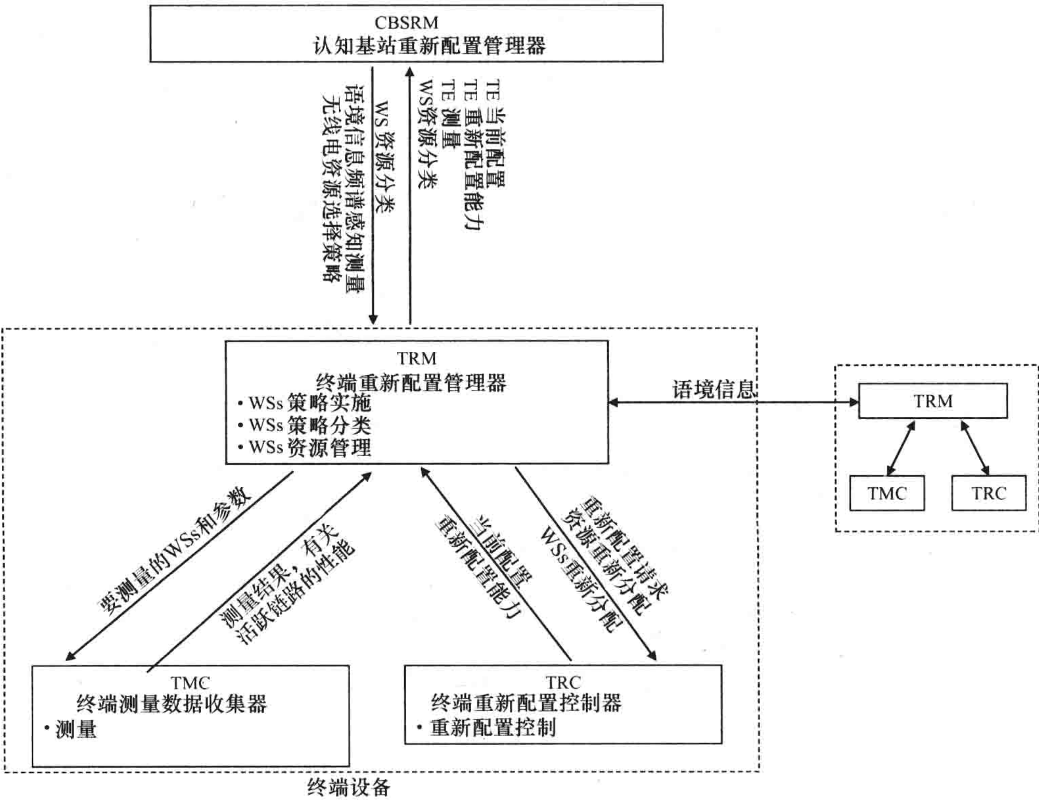


图 6.23 带有接口的终端设备中的实体

6. 4. 4　IEEE 1900. 4a 功能架构用例

针对 IEEE 1900. 4a 功能架构，可设计几个例子和用例。在本节，作为功能节点间的高层信息流提出各用例。这里的用例是作者的建议而非标准的建议。

所考虑的场景是异构无线电接入网络的场景，带有频谱的主辅用途，属于相同或不同运营商，具有可重新配置无线电能力。所提用例与如下方面有关：

- 终端上电和 WS 选择。这个用例与一次通信建立时二级频带的选择有关。
- 白空间操作灵活性。这个用例表明灵活的白空间分配。

图 6. 24 给出上电和 WS 选择的信息流的一个例子。在上电之后，终端测量数据收集器（TMC）为测量而感知 WS 频带，并将结果和终端设备（TE）能力发送到 CBSRM，CBSRM 也接收 CBSMC 测量数据。CBSRM 能够完成语境信息，原因是它从 WSM 接收当前 WS 使用情况（除了 WS 占用情况外），并从各 NRM 接收主频谱使用情况。之后，CBSRM 为 TE 操作选择一个 WS（在例子中是 WS2），并将这个选择传递给 CBSRC，由 CBSRC 控制针对 WS2 选择的 CBS 重新配置。与 TRM 一起，CBSRM 也控制针对 WS 选择和通信建立的终端重新配置。最后，向 WSM 确认 WS 选择，并更新 WS 数据库。如有必要，也更新 IEEE 1900. 4 架构的各 NRM。

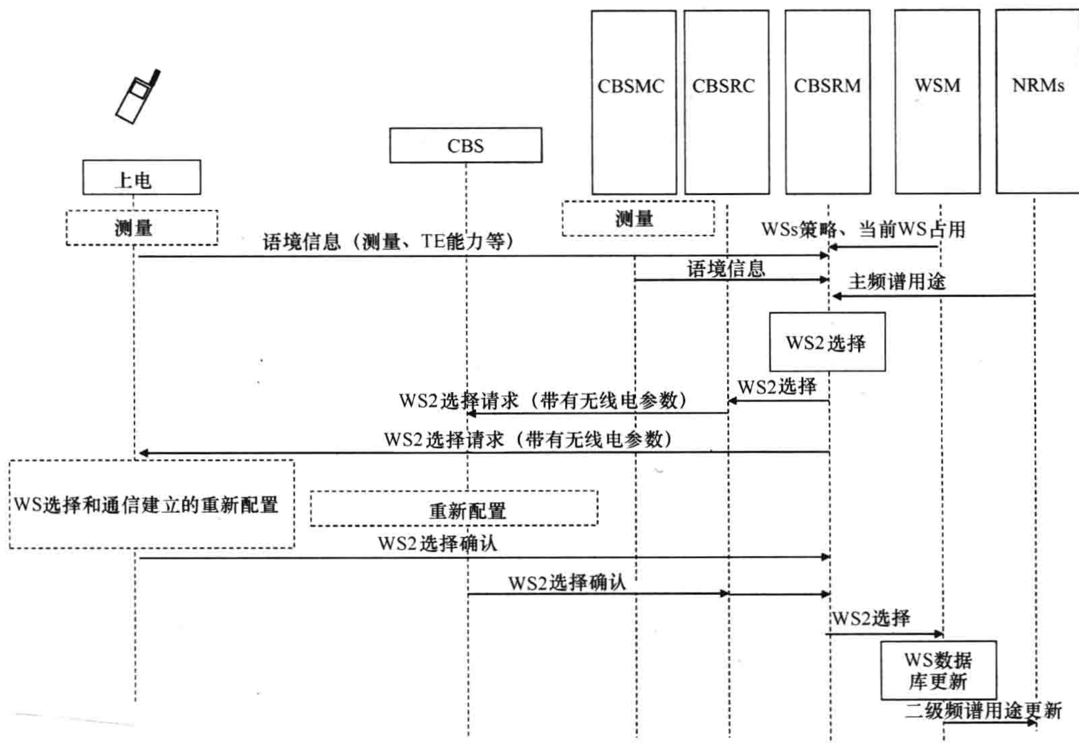


图 6. 24　上电和 WS 选择的信息流的例子

图 6.25 给出 WS 操作灵活性的信息流的一个例子。在图中，终端工作时使用 WS1。它周期性地将语境信息发送到 CBSRM，CBSRM 也从 WSM 接收 CBSMC 测量数据和 WS 使用情况。CBSRM 运行一个优化算法，其输出是对终端设备（TE）的 WS2 频率变化。CBSRM 将输出传递给 CBSRC，由 CBSRC 控制 WS2 选择的 CBS 重新配置。与 TRM 一起，CBSRM 也控制 WS2 选择的终端重新配置。最后，向 WSM 确认 WS2 选择，并更新 WS 数据库。如有必要，也更新 IEEE 1900.4 架构的各 NRM。

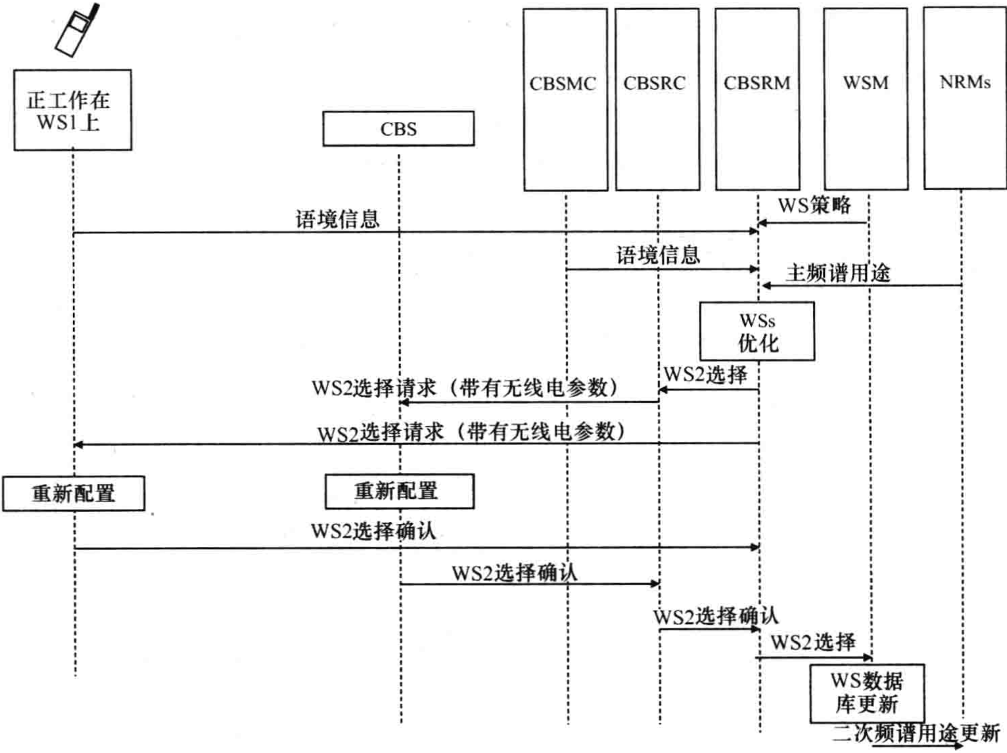


图 6.25 WS 操作灵活性的信息流的例子

6.5 小结

2009 年 IEEE 发布 IEEE 1900.4 标准，提出支持异构无线接入网络中优化无线电资源使用的网络设备分布式做出决策的一个功能架构[1]。所提功能架构设想了单运营商和不同网络运营商协同（联合目标是无线电资源优化）的场景。

为运营商频谱管理、网络和终端重新配置管理、重新配置控制以及测量数据收集，引入新的实体。新实体通过标准接口双向通信，并与无线电终端中的相应实体通信。

2011 年发布 IEEE 1900. 4 标准的一项补充标准 IEEE 1900. 4a。针对白空间频带中的动态频谱接入网络，IEEE 1900. 4a 将新实体添加到 IEEE 1900. 4 功能架构。新实体将认知功能特征添加到认知基站（CBS），例如 CBS 重新配置管理、CBS 重新配置控制和 CBS 测量数据收集，并探索使用白空间支持二级传输的可能性。

参 考 文 献

1. IEEE Standard 1900.4 (2009) *Architectural Building Blocks Enabling Network-Device Distributed Decision Making for Optimized Radio Resource Usage in Heterogeneous Wireless Access Networks*, 27 February 2009.
2. Guenin, J. (2008) IEEE SCC41 Standards for Dynamic Spectrum Access Networks, Joint Workshop with SCC41, SDRF and IEICE SRTC, August 2008.
3. http://grouper.ieee.org/groups/dyspan/index.html.
4. Murroni, M., Prasad, R.V., Marques, P. *et al.* (2011) IEEE 1900.6: Spectrum Sensing Interfaces and Data Structures for Dynamic Spectrum Access and Other Advanced Radio Communication Systems Standard: Technical Aspects and Future Outlook. *IEEE Communications Magazine*, **49** (2), December.
5. Buljore, S., Harada, H., Filin, S. *et al.* (2009) Architecture and enablers for optimized radio resource usage in heterogeneous wireless access networks: the IEEE 1900.4 working group. *IEEE Communications Magazine*, **47** (1), January, 122–129.
6. Prasad, R.V., Pawlczak, P., Hoffmeyer, J.A. and Berger, H.S. (2008) Cognitive functionality in next generation wireless networks: standardization efforts. *IEEE Communications Magazine*, **46** (4), April, 72–78.
7. ETSI TR 102 682 (2009) *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Functional Architecture for Management and Control of Reconfigurable Radio Systems*, v1.1.1.
8. IEEE Standard 1900.4a (2011) *Architectural Building Blocks Enabling Network-Device Distributed Decision Making for Optimized Radio Resource Usage in Heterogeneous Wireless Access Networks – Amendment 1: Architecture and Interfaces for Dynamic Spectrum Access Networks in White Space Frequency Bands.*

第 7 章　可重构无线电系统的法规方面的挑战

7.1　引言

如在本书第一段中所述，就引入新的接入技术（固定和无线）的最新过去数年的网络进展中，将一个 IP 骨干用于所有发起服务和终止服务（见图 7.1）。

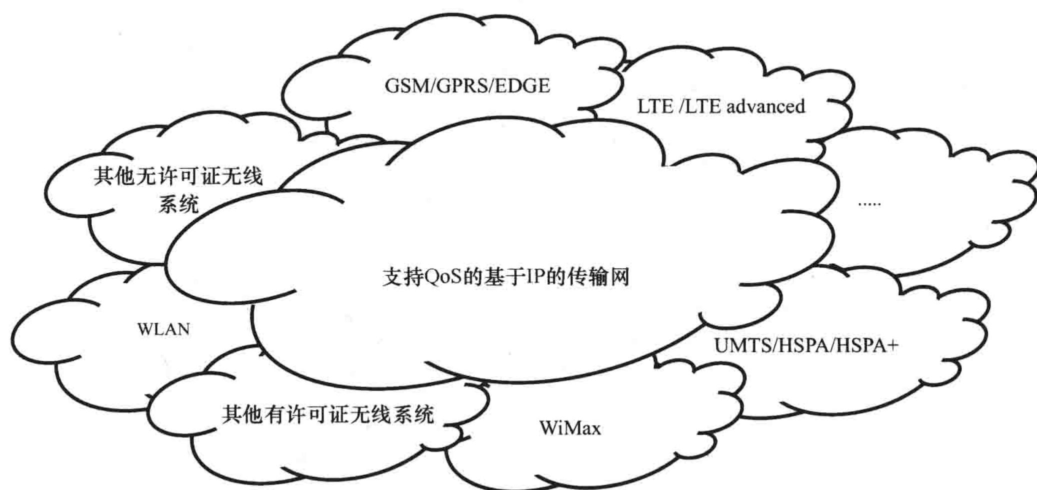


图 7.1　连接到一个 IP 骨干的各种无线电接入技术

如今，有许可证和无许可证系统向端用户提供如下可能性，即通过各种频带、采用不同速度并提供各种服务。正在成熟的技术（像认知[1]和可重新配置无线电设备及网络节点）将支持新的网络场景和频谱使用的新模式。这将由新的频谱策略的发展所促进，这些策略使新技术的使用是有效的[2,3]。

在不宣称穷举所有方面的条件下，本章给出如下情形中频谱管理的演进，即采用相应场景时不同实体间的共享接入。

7.2　频谱管理

频谱管理满足固定和移动、陆地和卫星服务、政府和军事网络、广播方和其他用户的频谱需求[4]。无线服务的日渐增长需求，以及数据连接的越来越高速度的需要，导致对稀缺资源即频谱的非常高的需求。

在全球层面上频谱是由国际电信联盟（ITU）管理的。主要文档是国际电

信联盟（ITU）无线电法规（RR），这被看作国际条约。无线电法规为各国际法规权威部门许可一个无线电频谱设定语境，包含频率指派和使用的一般规则，并包括各种无线电服务频率分配的一张表。频谱也在地区和国家层面上实施管理，处理政治、法规和技术方面。ITU 将世界分成三个区域，如图 7.2 所示。

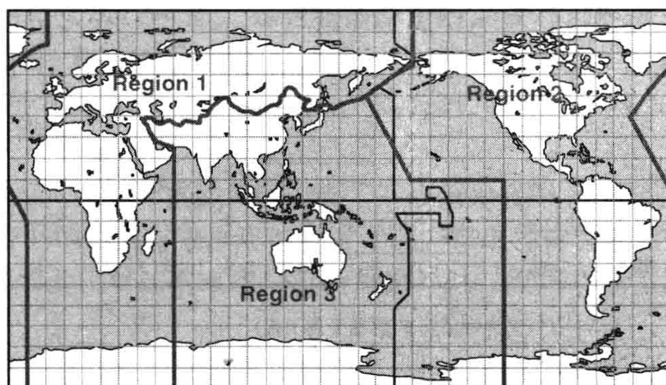


图 7.2　ITU 地区

几乎所有国家/疆域都落在一个地区法规组内：

• CEPT/ECC：CEPT（欧洲邮电管理会议）内的电子通信委员会（ECC）“在考虑欧洲和国际法律和法规的情况下，在欧洲范围内考虑并开发电子通信活动方面的政策[5]”。

• CITEL：美洲国家组织（OAS）的实体美洲间电信委员会（CITEL）是“一个地区的主要政府间电信咨询机构[6]”。

• APT：亚太电信共同体（APT）作为亚太地区 ICT 的核心组织[7]。

• 阿拉伯各国。

• 非洲。

ITU 无线电法规条款 5 陈述，每个频带可被分配给不同服务，且每个国家法规权威机构可选择在频带中许可的服务，目标是最小化有害的干扰。

迄今为止，电信无线电系统的频谱使用可分为

• 频谱的有许可证使用：对于被许可的系统，频谱使用是排他性的。在这种情形中，一个实体使用被许可的频谱部分。

• 频谱的无许可证使用：采用给定的参数（像最大功率），无许可证系统被允许在一个无许可证频道进行发送。例如，在从 2.4 到 2.483GHz 的无许可证频带，不同系统可工作，像 WLAN（IEEE 802.11）、蓝牙（IEEE 802.15.1）、RFiD（ISO 18092）等。所有这些系统可使用 100mW e.i.r.p. 的最大功率。在这样的无许可证频带上对系统和设备数量没有限制，但风险是每个人都经历不佳的性能。这是为什么无许可证无线系统不能保障服务质量（QoS）的原因。

图 7.3 给出有许可证频带和无许可证频带的使用。

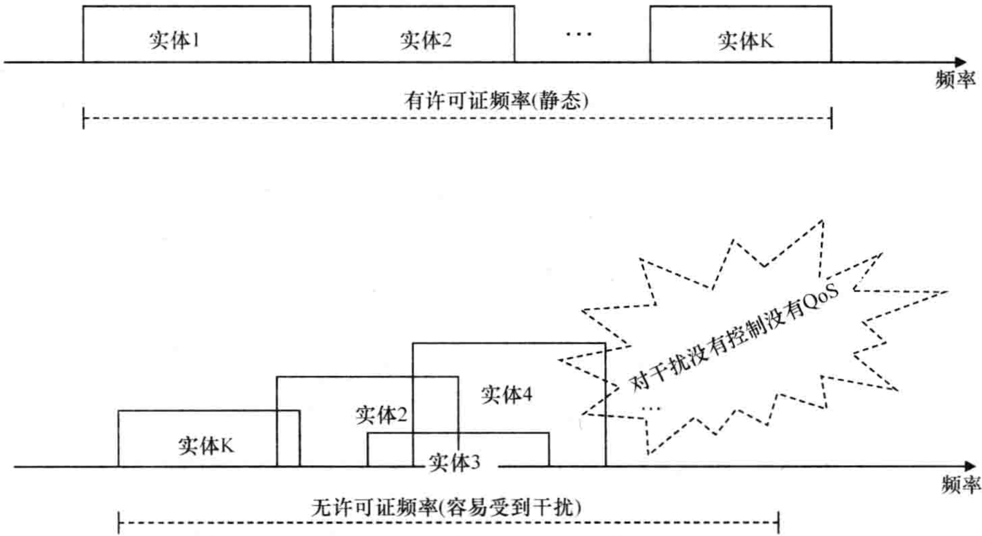


图 7.3 有许可证和无许可证频带的使用

在管理频谱中，多数管理者使用一种命令和控制（CAC）方法。CAC 可定义为“监管机构对一个行业或活动的直接管理，声称什么是允许的和什么是不合法的”[8]。这意味着通过无线电频谱的每个部分如何被使用和使用它的实体的方式加以管理。例如，联邦通信委员会（FCC）使用基于如下五个步骤的一种 CAC 方法[9]：

- 分配：频谱分段（频带）被分配给不同类型的服务。
- 采用服务规则或技术标准：在每个被分配的频带中，采用服务规则和技术标准。建立将使用被分配频谱之无线电的技术和工作特征（例如功率限制、载波间隙等）。
- 证书：主要系统必须是有证书的。
- 指派：不同的频谱部分被指派到技术标准或服务规则。
- 实施：通过测量、报告等实施指派。

图 7.4 给出频谱管理中 CAC 方法的五个步骤。

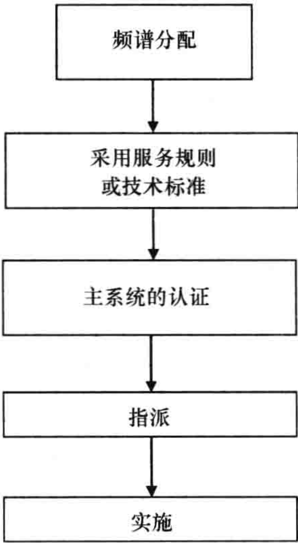


图 7.4 频谱管理中 CAC 方法的五个步骤

CAC 方法在美国产生“FCC 频率分配表”[10,11]，在欧洲产生“欧洲频率范围 9kHz 到 3000GHz 频率分配和应用表（ECA 表）”[12]。

7.2.1　动态频谱访问

动态频谱访问（DSA）在频谱管理中引入灵活性，有两个目标：使新用户在带有约束（即最大功率等）的可用频率上发送，同时维持对干扰的控制。这种灵活性为所有涉及的实体带来政治、法规和技术方面的挑战[13]。

有许可证用户（以许可证）得到频谱使用的主权利。但是，有许可证频谱是低效使用的。如 FCC 频谱政策任务组（ET Docket 02-135）Ofcom 的频谱框架综述和欧洲方面框架命令所述，一些有许可证频带可开放给辅助频谱用途。

在不同约束程度时，频谱的二级用途[14,15]可被分成如下方法：

- 二级用户只能避免对主用户的有害干扰。在这种情形中，二级用户工作在一个无许可证基础上，对技术或应用没有约束。对二级用户是不能保障服务质量（QoS）的。
- 二级用户工作在一个无许可证基础上，但对技术或应用有约束。在这种情形中，对二级用户不能保障 QoS。
- 在采用已定义共享规则下，二级用户工作在一个无许可证基础上。在这种情形中，对二级用户也可保障 QoS。

图 7.5 给出与约束和 QoS 可能性有关的不同频谱用途。

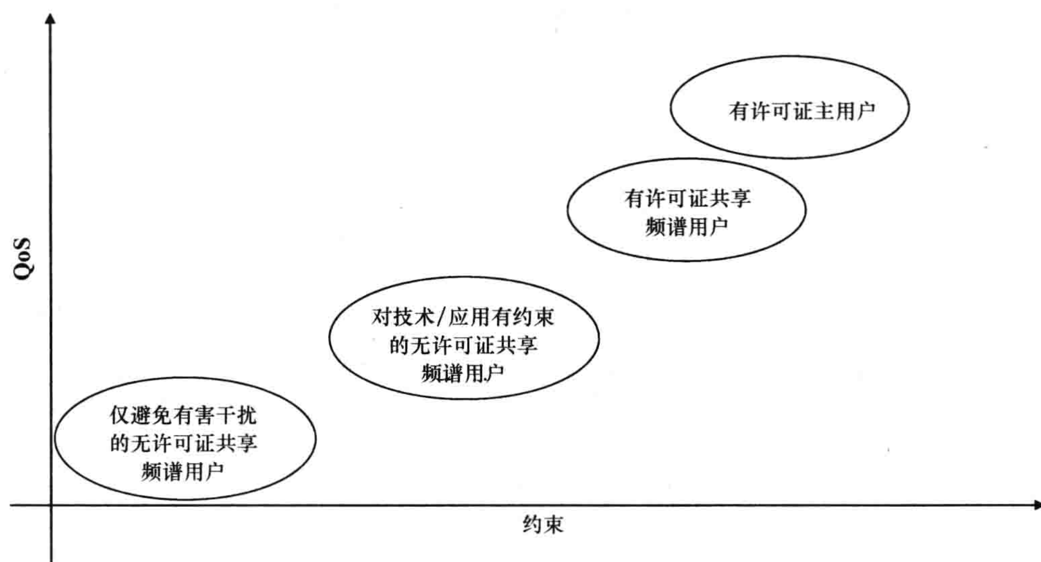


图 7.5　与约束和 QoS 有关的不同频谱用途

动态频谱访问模型涉及从个体许可证规范的频谱排他性使用到动态频谱管理的转换。这种演进如图 7.6 所示，有两个步骤：无许可证共享的频谱和有许可证共享的访问（Licensed Shared Access，LSA）。

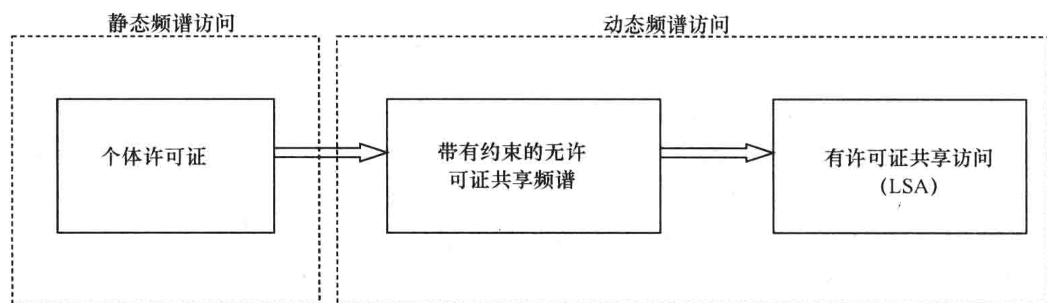


图 7.6 转换到动态频谱访问

无许可证共享频谱包括所有情形，其中一个二级用户在无许可证条件下发送，避免对主用户的干扰，最后是带有约束的情形。在最简单的场景中，各设备在没有显式信令的条件下尝试避免干扰。它们能够感知到其他发送方的存在。感知到二级系统存在的辅助设备终端它们的发送，并切换到另一个频率，最终重新安排无线电参数。

有许可证共享访问是这样的情形，其中二级用户在有许可证和已定义共享规则的条件下工作。在文献［16］中，LSA 定义为“在一个频带内有限数量的被许可方（licensee）的一个个体有许可证区域，频带已经被分配给一个或多个现有用户，对此允许其他用户使用该频谱（或频谱的一部分），他们遵循包括在授予被许可方的频谱使用权利中的共享规则，由此使所有被许可方提供一定程度的 QoS”。

共享协议可包括针对二级系统以及二级频谱市场（即频谱租赁的可能性）的服务质量保障。在这种情形中，可展望在及时和频率基础上频谱提供和频谱租赁的新市场。取决于需要、可用性和其他参数，某个频带可用于短期或长期用途。

最近，一个业界联盟引入被授权共享访问（Authorized Shared Access，ASA）这个术语，是为以一定服务质量提供服务，在一个许可区域下将共享访问提供给一个 IMT 频谱。ASA 和 LSA 可被看作同义词。

图 7.7 汇总了本节中描述的可能的频谱用途。第一项差异是频谱的有许可证和无许可证用途之间的差异。无许可证频谱用途也称作“公众”（the commons）用途，其中每个人都共享一个共同频带，最终会有一些约束，不需要为频谱使用支付任何费用。在这个场景中，对干扰的防护是给定约束条件（像最大允许功率）和物理层及 MAC 层的鲁棒性技术。公众法的一个例子是 IEEE 802.11，它在 2.4GHz 带宽中的发送被限制在 100mW e.i.r.p.，并在物理层使用扩频或 OFDM，在 MAC 层使用 CSMA/CA。在相同频带中，也允许其他系统（像蓝牙、RFid 等）发送。

在二级频谱用途的一个场景中，被许可方获取频谱的主用途，而频谱的二级用途可在有或无许可证的情况下得到。在这个场景中，在文献［16］中定义了频谱的集体性用法（Collective Use of Spectrum，CUS）[16-19]，如下：

“频谱的集体用法支持不限数量的个体用户和/或设备同时在指定 CUS 频率的

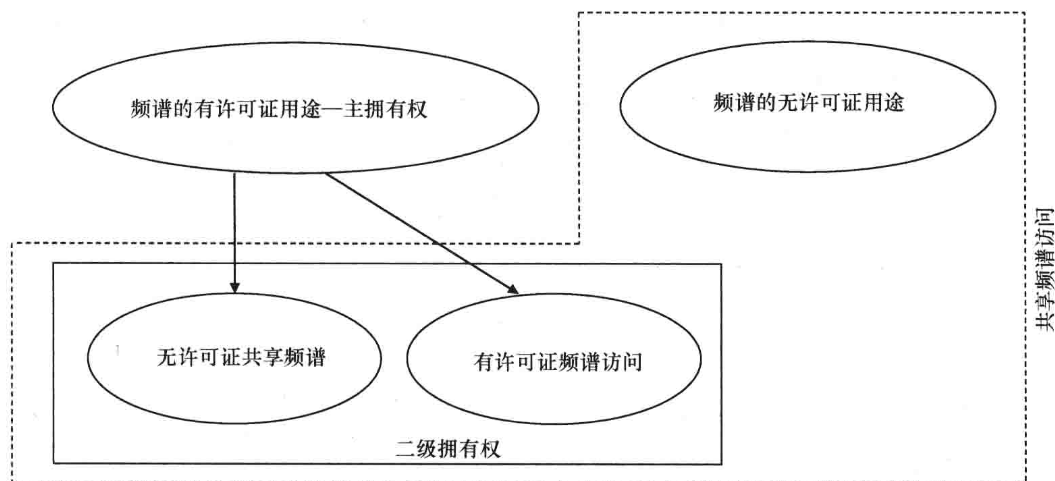


图 7.7　可能的频谱用途

相同范围和在一个良定条件集下的一个特定地理区域中访问频谱”。

有三个实体负责 CUS[16]：

- 监管机构，由之设置条件；
- 制造商，由之确保设备符合指定的条件集合；
- 用户，使用一个符合条件的终端。

CUS 模型不保障服务质量（QoS），QoS 仅可由有许可证的共享访问（LSA）模型确保。

在 CUS 模型下，可考虑两种不同的实现[16]：

- 轻量许可模型：监管机构限制访问带宽的用户数。在这种情形中，可使用比许可证-免除应用所采用的功率等级要高的功率等级。
- 私有公众法：确定对频带访问的规则是由频带所授予许可证的实体所设置的。

图 7.8 给出所述 CUS 的可能实现。

频谱共享的高级形式是协作系统[20]。在协作系统中，所有终端和网络节点协作确保频谱的优化使用。协作系统的最简单情形是当两个网元找到频带的排他性使用的协议时的情况。协作频谱共享的这种简单情形的一个例子如图 7.9 所示。

在例子中，基站（BS）BS1 和 BS2 为工作频带的达成而交换信令消息。此后，每个基站使用达成协议的频带（BS1 使用 B1，BS2 使用 B2）进行区域覆盖，并与相关联的用户进行数据发送。协作可发生于由相同或不同主体拥有的系统间。如果协作系统的属主是不同主体，则可考虑包括频谱租赁和提供的新市场。

共享的频谱访问可工作在协作模式，其中二级系统与主系统协作，并就频谱的可能使用达成一致。在这种情形中，频谱管理可以是分布式的或以中心方式处于一个频谱管理器（SM）中，SM 从各系统接收信息，并协同频谱的二级用途。图 7.10 给出中心式频谱管理的一个例子。

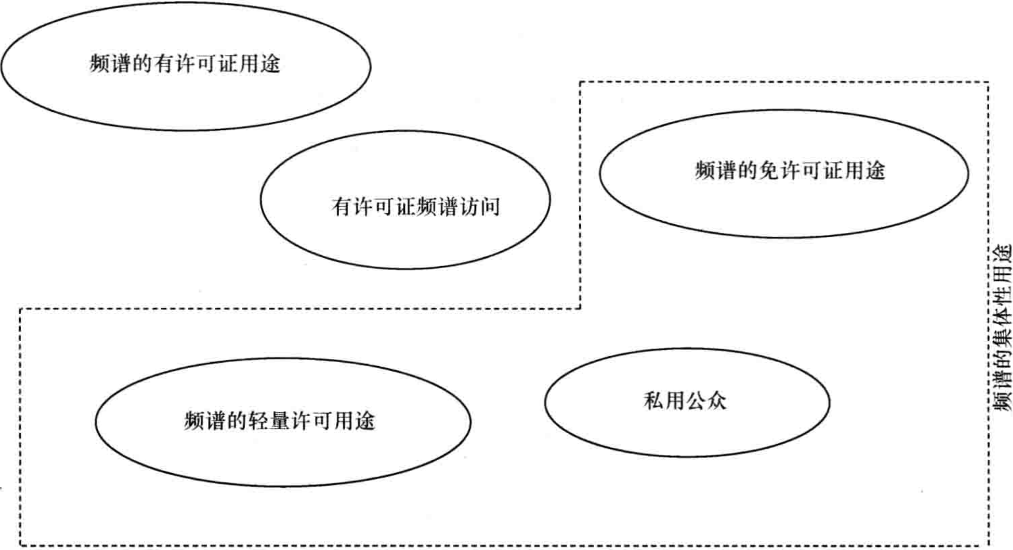


图 7.8 CUS 的实现

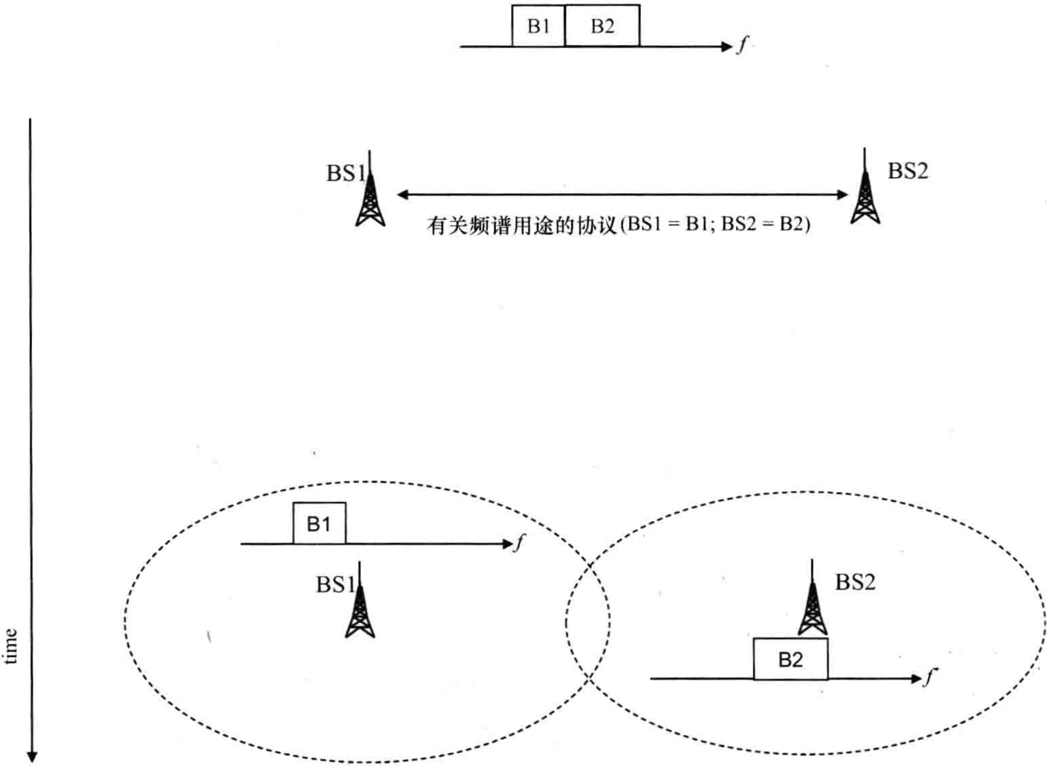


图 7.9 协作频谱共享的一个简单情形的例子

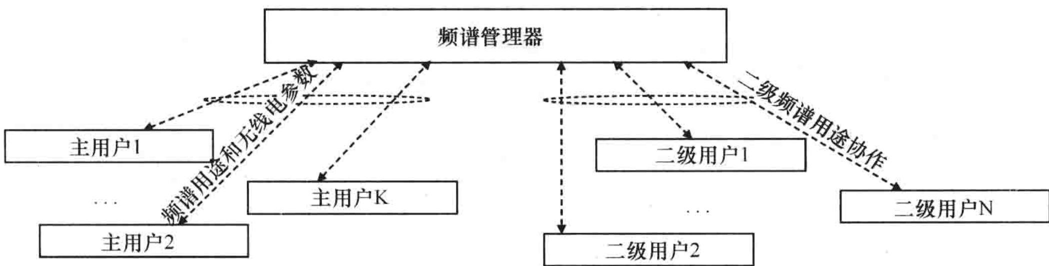


图 7.10 中心式频谱管理的例子

协作的最高水平是与移动自组织网络（MANET）的协作，其中每个移动终端是这样一个网络节点，它能够路由其他节点的信息，并调整所有参数来优化整个网络。在这样的系统中，频谱管理必须是分布式的，且在所有网络节点中必须实现相同的频谱管理协议。必须使用信令来共享信息。带有分布式频谱管理的一个 MANET 如图 7.11 所示。

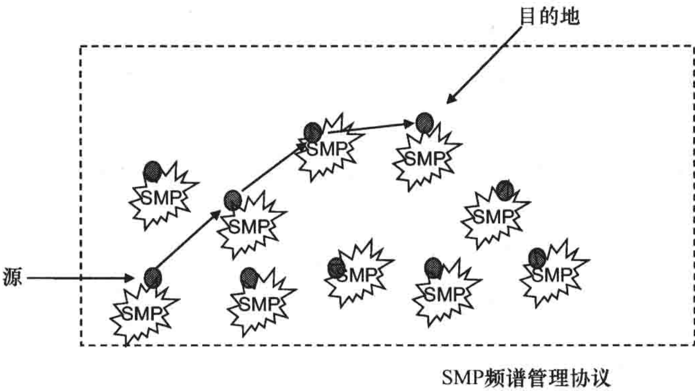


图 7.11 采用分布式频谱管理的一个 MANET 的例子

采用认知和可重新配置的无线电技术，在二级频谱用途中 QoS 保障的可能性将得到高度改善。为满足服务质量（QoS）需求，可重新配置无线电网络节点将能够感知环境，接收频谱策略，选择合适的发送频带，并调整无线电参数适合实际语境（即所用频率、工作网络等）。

7.2.2 频谱管理中基于市场的方法

迄今为止，一种行政式的方法主导着频谱的使用。一种命令和控制方法是由全球多数法规制定者所当前采用的一种方法，它基于如下两个基本步骤：

- 频谱分配：规划频谱分配，并建立无线电频谱使用的技术条件。
- 频谱指派。

最近，与动态共享访问原则相关，在频谱管理中出现了一种基于市场的方法[21-24]。市场机制代表 CAC 方法的一种可选方法，将频谱资源置于市场之手。但

是，就是否、如何和何时部署这样的基于市场机制的决策，非常可能将仍然由政府和法规权威机构处理。在未来可能的情况是，一些频频将留给市场，而其他频率（像公共紧急服务所用的频率）将继续由行政管理决策所规范。

频谱管里中的一种基于市场的方法（见图 7.12）包括如下主要战略[23]：

服务中性	频谱指派
二级频谱交易	行政激励定价

图 7.12 频谱管理中基于市场的方法

• 使用或服务中性式（neutrality）的改变：频谱不再与一项技术或服务相关。不同服务和技术竞争同一频谱使用。

• 拍卖：典型地用于主频谱指派，这些是基于竞价的。频谱被指派给竞价最高的公司。

• 频谱交易：典型地指二级市场，它支持属主和重新配置的改变，依据的是频谱转移和频谱租赁。

• 行政式激励定价（Administrative Indicative Pricing，AIP）：通过施用一项机会性成本，这种方法影响频谱指派和频谱分配。

7.2.2.1 服务中性

频谱是一项稀缺资源。因为这点，服务中性泛型，也成为使用变更，打开了这样一种场景，其中一个频带的属主被允许为任何服务使用任何技术。这意味着频谱的使用成为技术中性的（即属主可改变技术，例如通过从 GSM 切换到 LTE）和/或服务中性的（即属主可改变服务，例如通过从 TV 广播切换到无线宽带）。

在特定服务（像安保服务）的情形中，可能发生一些例外。在定义服务和技术中性权利（rights）方面的挑战是引入灵活性，同时保持频谱使用方面的效率，并避免对其他用户的干扰[25]。

7.2.2.2 频谱拍卖

一次频谱拍卖是这样一个过程，用来销售频谱使用的许可证。一般而言，资源被指派给最看重其价值的主体。

7.2.2.3 频谱交易

频谱交易（见图 7.13）是一种基于市场的机制，它支持一个频谱的二级使用，这是二级交易。二级交易允许购买方改变频谱初始被许可时的用途，同时保持使用它的权利。它包括转移，许可证或部分许可证的租赁，频谱重新配置，用途的变

更，频谱用途方面的灵活性等。

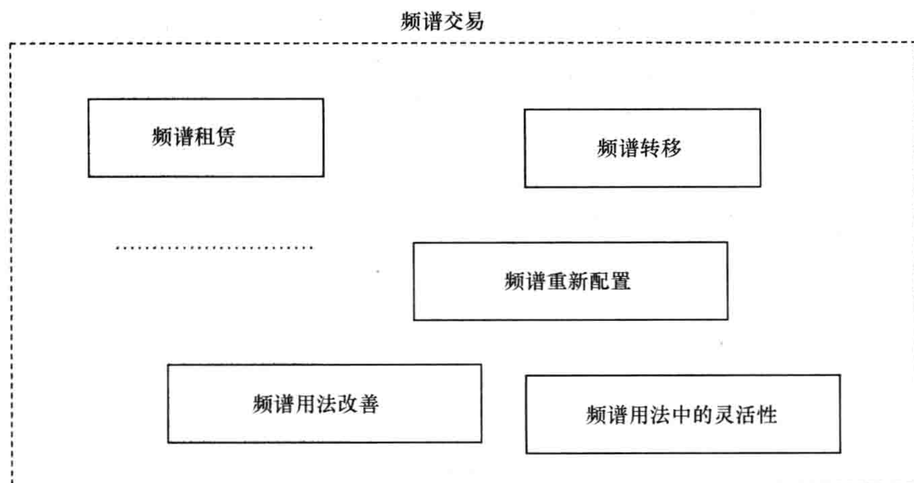


图 7.13　频谱交易

二级交易被看作频谱规范改革的第一步。它为频谱的更高效使用打开了方便之门，并未新技术（像认知和可重新配置无线电系统）铺平了道路。

7.2.2.4　行政方式激励定价

行政方式激励定价（AIP）是一种频谱管理方法，它通过采用价格计算的一种方法论，影响频谱指派和频谱分配，价格产生被许可方以一种高效方式使用频谱的激励[25]。频谱价格应该设置在成本/效益的平衡点。图 7.14 给出两个扇区情形（可被看作无线电接入系统的两个蜂窝）中的平衡点。

图 7.14 给出扇区 1 和扇区 2 的边际效益（MB）。当频谱量（S）增加时，MB 减少。在平衡点（S^*，MB^*）达到最优值，它确定了指派给扇区 1 和扇区 2 的最优频谱量。

经济学断言，随着消费增加，边际效益减少。一般而言，需求和边际效益的曲线具有类似的形状（随着量的增加而减少）。事实上，需求定律基于削减边际效益的思想之上。因为当需求增加时，价格（和边际效益）减少，所以随着消费增加，价格也减少（需求定律）。平衡点（S^*，MB^*）确定了两个扇区的价格（费用），其中考虑到下面描述的情况。回到图 7.14，如果曲线变化，则这两个扇区将失去平衡点。一般而言，当频谱需求（以及接下来的 MB）变化时，最优频谱分配的平衡点发生变化[26]。

图 7.15 表明，在前面的平衡点*，在扇区 1 中频谱的边际效益大于在扇区2 中频谱的边际效益。那么扇区 2 在它支付的价格方面应该有激励，即返回超量的频谱而不是支付费用。行政方式激励定价基于设置频谱价格的原则，它取得最优频谱使用，之后如有需要则为频谱重新分配提供激励。图 7.16 继续说明带有频谱管理方法的不同许可证区域（regime）法。

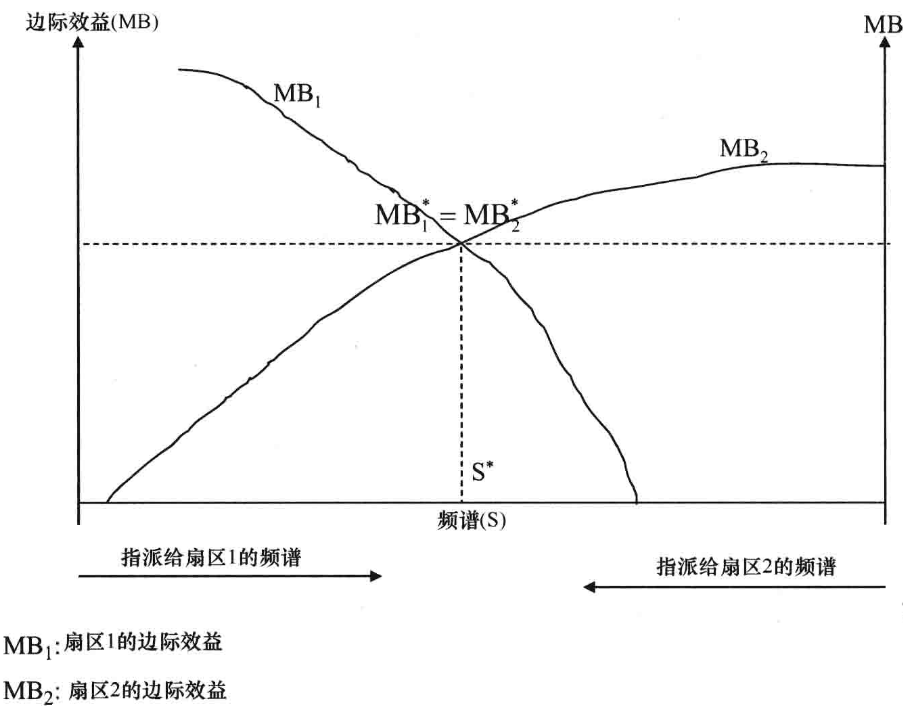


图 7.14 频谱竞争性使用的平衡点

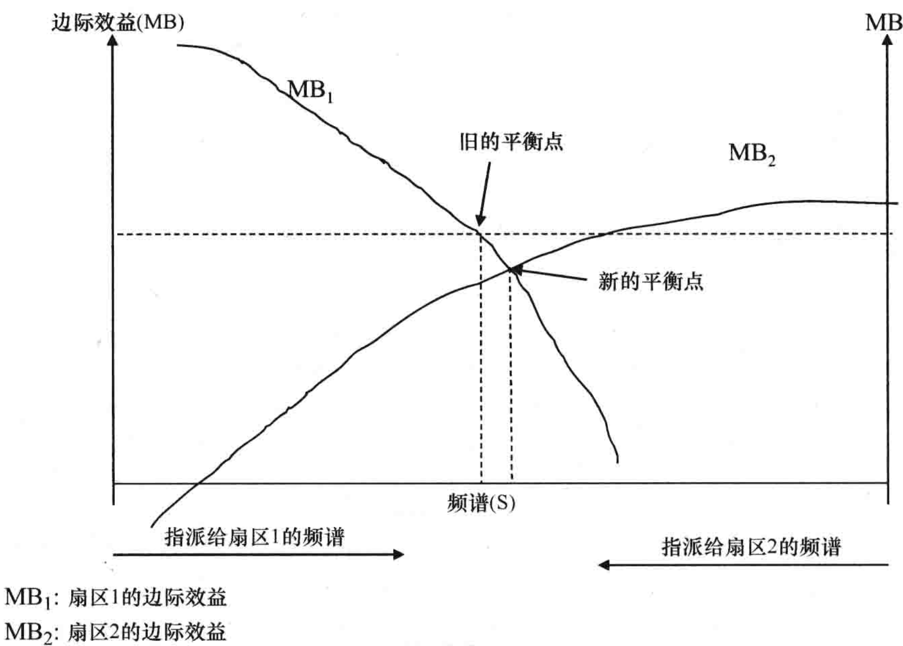


图 7.15 频谱的竞争性使用：平衡点的变化

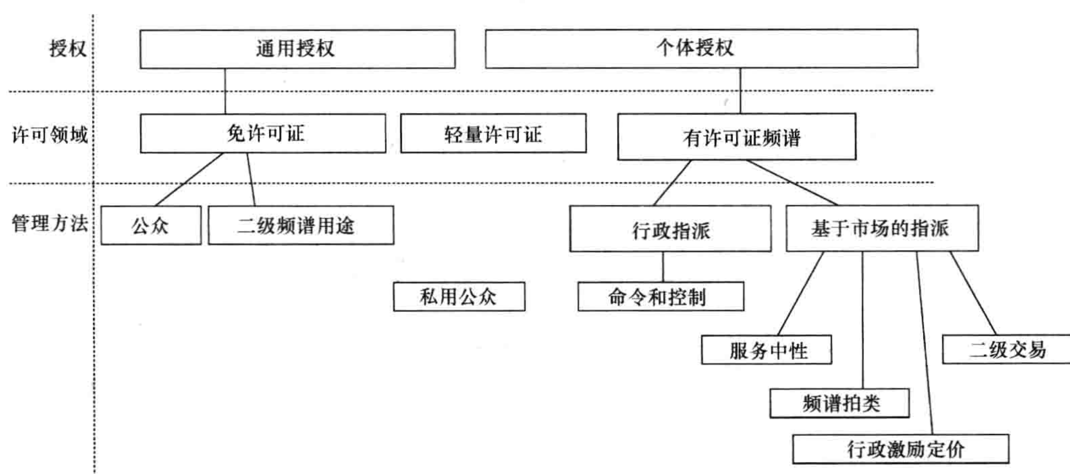


图 7.16　采用频谱管理方法的不同许可区域

7.3　可重构无线电系统对频谱管治的影响

传统的命令和控制（CAC）频谱管理模型给出一些限制：一些频率是低效使用的，且该方面的频谱需求和新的服务/技术中的变化反应缓慢。之后，频谱管理权威机构认识到对一种更具备适应性的和灵活性的频谱管理的需要[27]。这样一个灵活的频谱管理模型也被称作动态频谱访问（DSA）或机会性频谱访问（OSA）。

认知和可重构无线电系统的各项技术为新的频谱管理模型打开了大门。在本书其他各节中描述的系统——认知系统 IEEE 802.22、IEEE 1900.4 和 ETSI 可重构无线电系统标准——设想了带有动态频谱管理的不同频谱用途（有许可证的和无许可证的）。在本书第 4 章、第 5 章和第 6 章中描述了这样的场景，在本节恢复讨论与动态频谱管理方法（在本章前一段中（7.2 节）做了描述）。

基于认知无线电的第一个标准 IEEE 802.22，引入了在白空间（WS）上无许可证发送的可能性，白空间是在迁移到数字电视过程中在 UHF 和 VHF 频带中留下的频谱空洞。因为频谱空洞取决于位置，所以 IEEE 802.22 中的频谱管理得到一个地理位置数据库的辅助。

IEEE 802.22 网络拓扑是点到多点拓扑，其中 IEEE 802.22 基站连接到互联网骨干。基站（BS）实现无线电覆盖，并向多达 512 个固定或便携站提供连通性服务。每个 BS 都提供有地理位置能力，并与地理位置数据库通信。数据库服务将频谱策略和可用 TV 频道发送到各 BS，各 BS 以使用的 TV 频道更新数据库服务。每个 BS 都被提供一个频谱管理器（SM），SM 处理信道选择和管理，调度频谱感知操作，实施频谱策略，访问数据库服务，并保护现有使用方。IEEE 802.22 的 BS 在功率上是受限的，且最大天线数是 8。如果不存在数据库服务，则频谱管理其在

频谱感知结果的基础上选择一个可用信道。

各 BS 可工作于两种模式：

- 正常模式：每个 BS 在一个 TV 频道上发送；
- 共存模式：多个 IEEE 802.22 BS 共享相同 TV 频道。

表 7.1 给出 IEEE 802.22 系统的频谱管理方法。

表 7.1　IEEE 802.22 系统的频谱管理方法

系　统	操作模式	许可区域	管理方法
IEEE 802.22	正常的 共存的	许可证免除 许可证免除	二级频谱使用 共享的二级频谱使用

在本书中描述的可重构无线电系统（RRS）的 ETSI 和 IEEE 功能架构，在有许可证和无许可证领域给出新的频谱管理模型。RRS 的场景是异构接入网络连接到一个独特的基于分组的核心网络。ETSI 和 IEEE 建议都包括无线电接入网络（RAN）属于相同或不同运营商的可能性。

一些无线电接入网络节点能够重新配置其无线电参数，由功能架构（FA）处理它的管理。功能架构也假定无线电频率是可动态地管理的，对频谱使用采用指定的规则，并具有被允许的最大功率。各 FA 甚至支持频谱共享、频谱租赁以及主要频谱用途和二级频谱用途。为得到信息并高效地管理无线电频谱，功能架构双向地与低层 RAN 通信，各 RAN 可属于相同或不同运营商。ETSI RRS 功能架构为管理无线电语境（即频率、工作 RAT 等），提出引入一个认知引导信道（CPC）。

IEEE 1900.4 标准化了可重新配置无线电网络和终端的系统架构，目标是整体无线电资源优化（包括无线电频谱）。2011 年发布了 IEEE 1900.4 标准的补充标准 IEEE 1900.4a。IEEE 1900.4a 向 IEEE 1900.4 功能架构添加了在白空间频带中用于动态频谱接入网络的新实体。表 7.2 恢复讨论 RRS 功能架构的可能频谱管理方法。多亏频谱管理的功能单元，像 ETSI FA 中的动态频谱管理器和 IEEE 1900.4 中的运营商频谱（OSM），所建议的功能架构才得到所有可能的频谱管理方法。IEEE 1900.4a 中的白空间管理器（WSM）实体是负责白空间管理的实体。

表 7.2 给出可用于所有可能频谱管理方法的 RRS 功能架构。

表 7.2　RRS 功能架构的频谱管理方法

系　统	许可区域	管理方法
IEEE 1900.4	被许可的	所有可能的频谱管理方法
IEEE 1900.4a	许可证免除	二级频谱用途
ETSI FA	被许可的	所有可能的频谱管理方法

7.4　小结

如今，通过使用有许可证和无许可证频带，有许可证和无许可证系统向端用户提供通过不同无线电接入网络（RAN）的可能性。正在成熟的技术，像认知和可重新配置无线电设备和网络节点将支持新的网络场景和频谱使用的新模式。这将得到新的频谱策略开发的促进，这些策略会有效地使用新技术。

迄今为止，多数法规制定方使用一种命令和控制（CAC）模型，其中中心式权威机构分配频谱并确定它的用途。最近，监管机构认识到新的频谱用法，这得到采用许可证或无许可证、主要用途和二级用途时频谱的动态管理。

IEEE 和 ETSI 的最新标准为频谱用途的新场景打开了大门。IEEE 802.22 是基于认知无线电的第一个系统，并引入白空间的一种动态用法。ETSI 和 IEEE 1900.4 标准提出的功能架构包括频谱管理的功能实体，这有利于所有可能的动态频谱管理模型的实现。

参考文献

1. Chen, K.-C. and Ramjee Prasad, R. (2009) *Cognitive Radio Networks*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
2. Kolodzy, P. (2004) *Dynamic Spectrum Policies: Promises and Challenges*, CommLaw Conspectus.
3. http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/radio_spectrum/eu_policy/index_en.html.
4. Dixon, J. (2005) Radio spectrum management – a tutorial, 13th WWRF Meeting, 2 March 2005.
5. http://www.cept.org/ecc/.
6. http://web.oas.org/citel/en/Pages/default.aspx.
7. http://www.apt.int/.
8. McManus, P. (2009) *Environmental Regulation*, Elsevier Ltd, Australia.
9. United States General Accounting Office (2004) Better knowledge needed to take advantage of technologies that may improve spectrum efficiency. *Spectrum Management*, May.
10. Federal Communications Commission Office of Engineering and Technology Policy and Rules Division (2012) FCC Online Table of Frequency Allocations, revised on 25 May 2012.
11. http://transition.fcc.gov/oet/spectrum/table/fcctable.pdf.
12. The European table of frequency allocations and applications in the frequency range 9 kHz to 3000 GHz (ECA Table), ERC Report 25.
13. Xhao, Q. and Sadler, B.M. (2007) A survey of dynamic spectrum access. *IEEE Signal Processing Magazine*, May.
14. Saruthirathanaworakun, R. and Peha, J.M. (2010) Dynamic primary–secondary spectrum sharing with cellular systems. in *Proceedings of IEEE Crowncom*, 2010.
15. Lin, P., Jia, J., Zhang, Q. and Hamdi, M. (2010) Dynamic spectrum sharing with multiple primary and secondary users, in *Proceedings if IEEE ICC*, 2010.
16. RSPG11-392 Final, Radio Spectrum Policy Group (2011) Report on Collective Use of Spectrum (CUS) and Other Spectrum Sharing Approaches, November 2011.
17. RSPG08-244 Final, Radio Spectrum Policy Group (2008) Opinion on Aspects of a European Approach to 'Collective Use of Spectrum, 19 November 2008.
18. MacDonald, M. (2006) Study on Legal, Economic and Technical Aspects of 'Collective Use' of Spectrum in the European Community, November 2006.
19. http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/radio_spectrum_copy%281%29/topics/collective/index_en.htm.

20. Peha, J.M. (2008) Sharing Spectrum through Spectrum Policy Reform and Cognitive Radio, Department of Engineering and Public Policy, Paper 5. http://repository.cmu.edu/epp/5.
21. Niyato, D. and Hossain, E. (2008) Spectrum trading in cognitive radio networks: a market-equilibrium-based approach. *IEEE Wireless Communications*, **15** (6), December, 71–80.
22. SCF Associates Ltd (2012) Perspectives on the Value of Shared Spectrum Access: Final Report, February 2012.
23. Oliver & Ohlbaum Associates Ltd and DotEcon Ltd (2008) The Effects of a Market-Based Approach to Spectrum Management of UHF and the Impact on Digital Terrestrial Broadcasting, 27 February 2008.
24. Forge, S., Horvitz, R. and Blackman, C. (2012) Perspectives on the Value of Shared Spectrum Access, Final Report for the European Commission, 10 February 2012.
25. 1721/TNR/FR/1 (2006) Technology-Neutral Spectrum Usage Rights, Ofcom Final Report, 10 February 2006.
26. An Economic Study to Review Spectrum Pricing, Indepen, Aegis Systems and Warwick Business School, February 2004.
27. Lemstra, W. (2008) Cognitive Radio Defying Spectrum Management. A collection of four (short) contributions, in CRNI Brussels Conference, 2008.

附录　缩略语

缩略语	全称	解释
AASA	Aggregation aware spectrum assignment	聚集感知频谱指派
ADSL	Asymmetric digital subscriber line	非对称数字用户环路
AGCH	Access grant channel	访问授权信道
AICH	Acquisition indicator channel	获取指示器信道
AICPC	Acquisition indication CPC	获取指示 CPC
AIP	Administrative incentive pricing	行政激励定价
AMC	Adaptive modulation and coding	自适应调制和编码
ANR	Automatic neighbour relation	自动邻居关系
AOA	Angle of arrival	到达角度
AP	Access point	接入点
APAC	Asia Pacific	亚太
APT	Asia Pacific Telecommunity	亚太电信组织
ARQ	Automatic repeat request	自动重复请求
ASA	Authorized shared access	被授权的共享访问
ASN-GW	Access service network gateway	接入服务网关
ATM	Asynchronous transfer mode	异步传递模式
BCCH	Broadcast control channel	广播控制信道
BCH	Broadcast channel	广播信道
BER	Bit error rate	比特错误率
BLM_REQ	Bulk measurement request	块式测量请求
BPSK	Binary phase shift keying	二相移相键控
BS	Base station	基站
BSC	Base station controller	基站控制器
BSIC	Base station identity code	基站身份代码
BSS	Base station subsystem	基站子系统
BTS	Base transceiver station	接收转发基站
BW	Bandwidth	带宽
CAC	Command and control	命令和控制
CAF	Cyclic autocorrelation function	循环自相关函数

（续）

缩 略 语	全 称	解 释
CAP	Contention access period	竞争访问时段
CBP	Coexistence beacon protocol	共存信标协议
CBS	Cognitive base station	认知基站
CBSMC	CBS measurement collector	CBS 测量数据收集器
CBSRC	CBS reconfiguration controller	CBS 重新配置控制器
CBSRM	CBS reconfiguration manager	CBS 重新配置管理器
CC	Call control (Chapter 1)	呼叫控制（第 1 章）
CC	Channel contention (Chapter 4)	信道竞争（第 4 章）
CC	Configuration control (Chapter 5)	配置控制（第 5 章）
CCB	Configuration control block	配置控制块
CCCH	Common control channel	共用控制信道
CCH	Control channel	控制信道
CCK	Complementary code keying	互补代码键控
CCM	Configuration control module	配置控制模块
CCN	Channel contention number	信道竞争号
CCNCT	Channel contention number of credit token	信用令牌的信道竞争号
CCS	Channellization code set	信道化代码集
Cell-Id	Cell identifier	蜂窝标识符
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administration	欧洲邮电管理会议
CF	Cognitive functionality	认知功能
CFP	Contention free period	无竞争时段
CGI	Cell global identity	蜂窝全球身份
CI	Cell identity	蜂窝身份
CIO	Cell individual offset	蜂窝个体偏移
CITEL	Inter-American Telecommunication Commission	美洲洲际电信委员会
CM	Configuration manager	配置管理器
CMTR	Coordinated multipoint transmission and reception	协同多点发送和接收
CP	Control plane	控制平面
CP	Cyclic prefix (Chapter 5)	循环前缀
CPC	Cognitive pilot channel	认知引导信道
CPE	Customer premise equipment	用户端设备

（续）

缩 略 语	全 称	解 释
CPS	Common part sublayer	通用部分子层
CQI	Channel quality indicator	信道质量指示器
CR	Cognitive radio	认知无线电
CRC	Cyclic redundancy check	循环冗余校验
CRRM	Common radio resource management	通用无线电资源管理
CRS	Cognitive radio system	认知无线电系统
CS	Circuit switched (Chapter 1)	电路交换（第1章）
CS	Coding scheme (Chapter 1)	编码方案（第1章）
CSDB	Communications Society Standards Development Board	通信学会标准开发董事会
CSFB	Circuit switched fallback	电路交换回退
CSG	Closed subscriber group	封闭的用户组
CSI	Channel state information	信道状态信息
CSMA/CA	Carrier sense multiple access with collision avoidance	带有冲突避免的载波侦听多路访问
CT	Credit token	信用令牌
CTAP	Channel time allocation period	信道时间分配时段
CTS	Clear to send	清除发送
CUS	Collective use of spectrum	频谱的集体性使用
CW	Contention window	竞争窗口
CWM	Composite wireless network	复合无线网络
CWMP	CPE WAN management protocol	CPE WAN 管理协议
CWN	Composite wireless network	复合无线网络
DBCPC	Downlink broadcast CPC channel	下行广播 CPC 信道
DCCH	Dedicated control channel	专用控制信道
DCD	Downstream channel descriptor	下行信道描述符
DCF	Distributed coordination function	分布式协同功能
DCH	Dedicated channel	专用信道
DFT	Discrete Fourier transform	离散傅里叶变换
DIFS	Distributed interframe space	分布式帧间间隙
DODCPC	Downlink on demand CPC	下行链路应需 CPC
DPCCH	Dedicated physical control channel	专用物理控制信道
DPCH	Dedicated physical channel	专用物理信道

（续）

缩 略 语	全 称	解 释
DPDCH	Dedicated physical data channel	专用物理数据信道
DS	Downstream	下行
DSA	Dynamic spectrum access (Chapter 7)	动态频谱访问（第7章）
DSA	Dynamic spectrum allocation (Chapter 5)	动态频谱分配（第5章）
D-SCH	Downlink shared channel	下行链路共享信道
DSM	Dynamic spectrum management	动态频谱管理
DS-MAP	Downstream MAP	下行 MAP
DSONPM	Dynamic self-organizing network planning management	动态自组织网络规划管理
DSSS	Direct sequence spread spectrum	直接序列扩频
DTCH	Dedicated traffic channel	专用流量信道
DTV	Digital television	数字电视
E-AGCH	Enhanced absolute grant channel	增强的绝对授权信道
EBD	Eigenvalue-based detection	基于特征值的检测
ECC	Electronic Communication Commission	电子通信委员会
ECGI	E-UTRAN cell global identity	E-UTRAN 蜂窝全球身份
E-DCH	Enhanced dedicated channel	增强的专用信道
EDGE	Enhanced data rates for GSM evolution	GSM 演进版的增强数据速率
E-DPCCH	Enhanced dedicated physical control channel	增强的专用物理控制信道
E-DPDCH	Enhanced dedicated physical data channel	增强的专用物理数据信道
EGC	Equal gain combining	等增益组合法
E-HICH	Enhanced HARQ indicator channel	增强的 HARQ 指示器信道
EIRP	Effective isotropic radiated power	有效的各向同性辐射功率
EM	Element manager	单元管理器
EMEA	Europe, Middle East and Africa	欧洲、中东和非洲
EMS	Element management system	单元管理系统
eNB	Evolved Node B	演进的节点 B
EPC	Evolved packet core	演进的分组核心网
EPS	Evolved packet system	演进的分组系统
E-RGCH	Enhanced relative grant channel	增强的相对授权信道
ES	Energy saving	能量节省
ESS	Extended service set	扩展的服务集合

（续）

缩 略 语	全 称	解 释
ETSI	European Telecommunication Standard Institute	欧洲电信标准组织
E-UTRAN	Evolved UTRAN	演进的 UTRAN
FA	Functional architecture	功能架构
FACCH	Fast associated control channel	快速关联控制信道
FACH	Forward access channel	前向访问信道
FC	Flow controller	流控制器
FC_ACK	Frame contention acknowledgement	帧竞争确认
FC_DST	Frame contention destination	帧竞争目的地
FC_REL	Frame contention release	帧竞争释放
FC_REQ	Frame contention request	帧竞争请求
FC_RES	Frame contention response	帧竞争响应
FC_SRC	Frame contention source	帧竞争源
FCC	Federal Communication Commission	联邦通信委员会
FCCH	Frequency correction channel	频率纠正频道
FCH	Frame control header	帧控制头
FDD	Frequency division duplex	频分双工
FDMA	Frequency division multiple access	频分多址
FEC	Forward error correction	前向纠错
FEM	Front end module	前端模块
FER	Frame error rate	帧错误率
FH	Frequency hopping	跳频
FIR	Finite impulse response	有限脉冲响应
FR	Full rate	全速率
FS	Fixed station	固定站
FSK	Frequency shift keying	频移键控
FSM	Frequency spectrum management	频谱管理
FT	Fourier transform	傅里叶变换
FTP	File transfer protocol	文件传输协议
FTTB	Fibre to the building	光纤到楼
FTTCab	Fibre to the cabinet	光纤到机柜
GERAN	GSM EDGE radio access network	GSM EDGE 无线电接入网
GGSN	Gateway GPRS support node	网关 GPRS 支持节点

（续）

缩 略 语	全 称	解 释
GL	Geo-location	地理位置
GMSK	Gaussian minimum shift keying	高斯最小平移监控
GPON	Gigabit passive optical network	千兆比特无源光网络
GPRS	General packet radio service	通用分组无线电服务
GPS	Global positioning system	全球定位系统
GSM	Global system for mobile communications	全球移动通信系统
HARQ	Hybrid ARQ	混合 ARQ
HCS	Header check sequence	头校验序列
HeMS	Home eNB management system	家庭 eNB 管理系统
HII	High interference indicator	高干扰指示器
HLR	Home location register	归属位置寄存器
HO	Handover	切换
HOM	Handover hysteresis margin	切换滞后容限
HPR	Hardware processing resource	硬件处理资源
HR	Half rate	半速率
HS-DPCCH	High speed dedicated physical control channel	高速专用物理控制信道
HS-DSCH	High speed downlink shared channel	高速下行链路共享信道
HSN	Hopping sequence number	跳频序列号
HSPA	High speed packet access	高速分组接入
HSS	Home subscriber server	归属用户服务器
HS-SCCH	High speed shared control channel	高速共享控制信道
IBSS	Independent basic service set	独立基本服务集
ICH	Indicator channel	指示器信道
ICIC	Intercell interference coordination	蜂窝间干扰协同
Id	Identifier	标识符
IE	Information element	信息元素
IEEE DySPAN-SC	IEEE Dynamic Spectrum Access Networks Standards Committee	IEEE 动态频谱接入网络标准委员会
IETF	Internet Engineering Task Force	互联网工程任务组
IM	Identity management	身份管理
IMS	IP multimedia subsystem	IP 多媒体子系统
IMSI	International mobile subscriber identity	国际移动用户身份

（续）

缩　略　语	全　　称	解　　释
IMT	International Mobile Telecommunications	国际移动电信
IP	Internet protocol	互联网协议
IR	Incremental redundancy	增量冗余
IRC	Interference rejection combining	干扰拒绝组合法
ISM	Industrial, Scientific and Medical	工业、科学和医疗
ITU	International Telecommunication Union	国际电信联盟
JRRM	Joint radio resource management	联合无线电资源管理
KPI	Key performance indicator	关键性能指示器
LA	Location area	位置区域
LAC	Location area code	位置区域码
LLC	Logical link control	逻辑链路控制
LSA	Licensed shared access	有许可证的共享访问
LTE	Long term evolution	长期演进法
M2M	Machine to machine	机机通信
MAC	Medium access control	媒介访问控制
MANET	Mobile ad hoc network	移动自组织网络
MB	Marginal benefit	边际效益
MBFEM	Multiband front end module	多频带前端模块
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Services	多媒体广播组播服务
MC	Management centre	管理中心
MCCH	Multicast control channel	组播控制信道
MCH	Multicast channel	组播信道
MCS	Modulation and coding scheme	调制和编码方案
MGW	Media gateway	媒体网关
MIB	Management information base	管理信息库
MIB	Master information block	主信息块
MIMO	Multiple input multiple output	多输入多输出
ML	Maximum likelihood	最大似然法
MM	Mobility management	移动管理
MME	Mobility management entity	移动管理实体
MRC	Maximum ratio combining	最大无线电组合法
MRC	Multiradio controller	多无线电控制器
MS	Mobile station	移动站

(续)

缩 略 语	全 称	解 释
MSA	Maximum satisfaction algorithm	最大满意度算法
MSC	Mobile switching centre	移动交换中心
MSDU	MAC service data unit	MAC 服务数据单元
MSISDN	Mobile station ISDN number	移动站 ISDN 号
MSK	Minimum shift keying	最小平移键控
MTCH	Multicast traffic channel	组播流量信道
NAS	Nonaccess stratum	非访问层
NAV	Network allocation vector	网络分配向量
NCI	Neighbour cell identity	邻居蜂窝身份
NCMS	Network control and management system	网络控制和管理系统
NFC	Near field communication	近场通信
NGAN	Next generation access network	下一代接入网络
NGMN	Next Generation Mobile Network	下一代移动网络
NIST	National Institute of Standards and Technology	美国国家标准和技术委员会
NM	Network manager	网络管理器
NMEA	National Marine Electronic Association	美国海洋电子学会
NMS	Network management system	网络管理系统
NO	Network operator	网络运营商
NPD	Next- in- line protecting device	下一步保护设备
NR	Neighbour cell relation	邻居蜂窝关系
NRM	Network reconfiguration manager	网络重新配置管理器
NRT	Neighbour relation table	邻居关系表
O&M	Operation and maintenance	运维
OAS	Organization of American States	美洲国家组织
ODFC	On demand frame contention	应需帧竞争
ODSC	On demand spectrum contention	应需频谱竞争
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing	正交频分复用
OFDMA	Orthogonal frequency division multiple access	正交频分多址
OI	Overload indicator	过载指示器
OLT	Optical line termination	光线路终端
ONU	Optical network unit	光网络单元

（续）

缩 略 语	全 称	解 释
OQPSK	Offset quadrature phase shift keying	偏移四相键控
OSA	Opportunistic spectrum access	机会性频谱访问
OSM	Operator spectrum manager	运营商频谱管理器
OSS	Operational support system	运营支撑系统
OTA	Over the air	空中接口
OVSF	Orthogonal variable spreading factor	正交可变扩散因子
PACCH	Packet associated control channel	分组相关控制信道
PAD	Padding	填充
PAGCH	Packet access grant channel	分组访问授权信道
PAPR	Peak-to-average power ratio	峰值平均功率比
PBCCH	Packet broadcast control channel	分组广播控制信道
PBCH	Physical broadcast channel	物理广播信道
PC	Point coordinator	点协调器
PCCCH	Packet common control channel	分组通用控制信道
PCCH	Paging control channel	寻呼控制信道
PCCPCH	Primary common control physical channel	通用主控制物理信道
PCF	Point coordination function	点协同功能
PCF	Policy control function	策略控制功能
PCFICH	Physical control format indicator channel	物理控制格式指示器信道
PCH	Paging channel	寻呼信道
PCI	Physical cell identity	物理蜂窝身份
PCRF	Policy and charging resource function	策略和计费资源功能
PCS	Personal communications service	个人通信服务
PCU	Packet control unit	分组控制单元
PD	Protecting device	保护设备
PDA	Personal digital assistant	个人数字助理
PDCCH	Packet dedicated control channel (Chapter 1)	分组专用控制信道（第 1 章）
PDCCH	Physical downlink control channel (Chapter 1)	物理下行链路控制信道（第 1 章）
PDCP	Packet data convergence protocol	分组数据融合协议
PDSCH	Physical downlink shared channel	物理下行链路共享信道
PDTCH	Packet dedicated traffic channel	分组专用流量信道

（续）

缩略语	全称	解释
PDU	Packet data unit（Chapter 1）	分组数据单元（第1章）
PDU	Protocol data unit（Chapter 4）	协议数据单元（第4章）
PGW	Packet gateway	分组网关
PHICH	Physical hybrid ARQ indicator channel	物理混合ARQ指示器信道
PHY	Physical layer	物理层
PICH	Paging indicator channel	寻呼指示器信道
PIFS	PCF interframe space	PCF帧间间隙
PLMN	Public land mobile network	公众陆地移动网络
PMCH	Physical multicast channel	物理组播信道
PNC	Piconet controller	毫微微网控制器
PNCH	Packet notification channel	分组通知信道
PON	Passive optical network	无源光网络
PPCH	Packet paging channel	分组寻呼信道
PPD	Primary protecting device	主保护设备
PRACH	Physical random access channel	物理随机访问信道
PRM	Protocol reference model	协议参考模型
PS	Packet switched（Chapter 1）	分组交换（第1章）
PS	Portable station（Chapter 4）	便携站（第4章）
PSD	Power spectral density	功率谱密度
PSK	Phase shift keying	移相键控
PSS	Primary synchronization signal	主同步信号
PTCCH	Packet timing advance control channel	分组定时高级控制信道
PTCH	Packet traffic channel	分组流量信道
PTM-M	Point-to-multipoint multicast	点到多点组播
PUCCH	Physical uplink control channel	物理上行链路控制信道
PUSCH	Physical uplink shared channel	物理上行链路共享信道
QAM	Quadrature amplitude modulation	四相幅度调制
QoS	Quality of service	服务质量
QP	Quiet periods	静默时段
QPSK	Quadrature phase shift keying	四相移相键控
RA	Routing area	路由区
RACH	Random access channel	随机访问信道
RACPC	Random access CPC	随机访问CPC

（续）

缩略语	全称	解释
RAN	Radio access network	无线电接入网络
RAT	Radio access technology	无线电接入技术
RBS	Radio base station	无线电基站
RCM	Radio connection manager	无线电连接管理器
RE	Reconfiguration entity	重新配置实体
REG-REQ	Registration request	注册请求
REG-RES	Registration response	注册响应
RF	Radio frequency	无线电频率（射频）
RFB	Radio frequency block	无线电频率块
RLC	Radio link control	无线电链路控制
RLC-PDU	RLC-packet data unit	RLC-分组数据单元
RLF	Radio link failure	无线电链路失效
RMC	RAN measurement collector	RAN 测量数据收集器
RNC	Radio network controller	无线电网络控制器
RNC-Id	Radio network control identifier	无线电网络控制标识符
RNS	Radio network system	无线电网络系统
RNTPI	Relative narrowband transmission power indicator	相对窄带发送功率指示器
RR	Radio regulations	无线电法规
RRC	Radio resource control	无线电资源控制
RRC	RAN reconfiguration controller	RAN 重新配置控制器
RRD	Reconfigurable radio device	可重新配置无线电设备
RRM	Radio resource management	无线电资源管理
RS	Reference signal (Chapter 1)	参考信号（第 1 章）
RS	Resource sharing (Chapter 4)	资源共享（第 4 章）
RSRP	Reference signal received power	参考信号接收功率
RSS	Received signal strength	接收信号强度
RTS	Request to send	请求发送
RTT	Round trip time	往返时间
RVCC	Radio voice call continuity	无线话音呼叫连续性
SACCH	Standalone associated control channel	独立相关控制信道
SAE GW	System architecture evolution gateway	系统架构演进网关
SAE	System architecture evolution	系统架构演进

（续）

缩略语	全称	解释
SAP	Service access points	服务访问点
SC_MMF_EM	Self-configuration monitoring and management function element manager	自配置监测和管理功能单元管理器
SC_MMF_NM	Self-configuration monitoring and management function network manager	自配置监测和管理功能网络管理器
SCCPCH	Secondary common control physical channel	二级通用控制物理信道
SCF	Spectral correlation function	频谱相关函数
SC-FDMA	Single carrier-frequency division multiple access	单载波-频分多址
SCH	Superframe control header	超帧控制头
SCH	Synchronization channel	同步信道
SCW	Self-coexistence window	自共存窗口
SDCCH	Standalone dedicated control channel	独立专用控制信道
SDR	Software defined radio	软件定义无线电
SF	Spreading factor	扩展因子
SGSN	Serving GPRS support node	服务 GPRS 支持点
SGW	Serving gateway	服务网关
SH_CO_F	Self-healing cell outage function	自愈蜂窝中断功能
SH_MMF	Self-healing monitoring and management function	自愈监测和管理功能
SH_MMF_EM	Self-healing monitoring and management function element manager	自愈监测和管理功能单元管理器
SH_MMF_NM	Self-healing monitoring and management function network manager	自愈监测和管理功能网络管理器
SIC	Successive interference cancellation	后续干扰消除
SIFS	Short interframe space	短帧间间隙
SIG	Special interest group	特殊兴趣组
SIM	Subscriber identity module	用户身份模块
SM	Session management (Chapter 1)	会话管理（第1章）
SM	Spectrum manager (Chapter 7)	频谱管理（第7章）
SNMP	Simple network management protocol	简单网络管理协议
SNR	Signal to noise ratio	信噪比
SO_MMF_EM	Self-configuration monitoring and management function element manager	自配置监测和管理功能单元管理器

（续）

缩　略　语	全　　称	解　　释
SO_MMF_NM	Self-configuration monitoring and management function network manager	自配置监测和管理功能网络管理器
SO-MMF	Self-optimization monitoring and management function	自优化监测和管理功能
SON	Self-organizing network	自组织网络
SPD	Secondary protecting device	二级保护设备
SS	Spectrum sensing	频谱感知
SSA	Spectrum sensing automation	频谱感知自动化
SSS	Secondary synchronization signal	二级同步信号
STM	Synchronous transfer mode	同步传递模式
SW	Software	软件
TACS	Total access communication system	全接入通信系统
TB	Transport block	传输块
TBS	Transport block size	传输块尺寸
TBTT	Target beacon transmission time	目标信标发送时间
TC	Technical Committee	技术委员会
TCH	Traffic channel	流量信道
TCI	Target cell identity	目标蜂窝身份
TDD	Time division duplex	时分双工
TDMA	Time division multiple access	时分多址
TE	Terminal equipment	终端设备
TF	Transmission format	发送格式
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity	临时移动用户身份
TMC	Terminal measurement collector	终端测量数据收集器
TOA	Time of arrival	到达时间
TRC	Terminal reconfiguration controller	终端重新配置控制器
TRM	Terminal reconfiguration manager	终端重新配置管理器
TTG	Transmit/receive transition gap	发送/接收转换间隙
TTI	Transmission time interval	发送时间间隔
TTT	Time to trigger	触发时间
TVBD	Television band device	电视频带设备
UCD	Upstream channel descriptor	上行信道描述符
UCS	Urgent coexistence situation	紧急共存状况

（续）

缩 略 语	全 称	解 释
UE	User equipment	用户设备
UMTS	Universal mobile telecommunication system	通用移动电信系统
UP	User plane	用户平面
US	Upstream	上行
US-MAP	Upstream MAP	上行 MAP
UTRAN	UMTS terrestrial radio access network	UMTS 陆地无线电接入网络
VLR	Visitor location register	拜访者位置寄存器
VoIP	Voice over IP	IP 上的话音（IP 电话）
WAVE	Wireless access in vehicular environments	车辆环境中的无线接入
WG	Working group	工作组
WLAN	Wireless local area network	无线局域网
WMAN	Wireless metropolitan area network	无线城域网
WPAN	Wireless personal area network	无线个域网
WRAN	Wireless regional area networks	无线区域网
WS	White space (Chapter 6)	白空间（第 6 章）
WS	Wireless station (Chapter 1)	无线站（第 1 章）
WSD	White space device	白空间设备
WSM	White space manager	白空间管理器

国际视野 科技前沿

国际信息工程先进技术译丛

《可重构无线电系统的网络架构和标准》
《声学显微镜与超分辨率成像理论及应用》
《构建基于IPv6和移动IPv6的物联网：向M2M通信的演进》
《虚拟网络——下一代互联网的多元化方法》
《下一代融合网络理论与实践》
《认知视角下的无线传感器网络》
《移动云计算：无线、移动及社交网络中分布式资源的开发利用》
《Android系统安全与攻防》
《内容分发网络》
《计算机网络仿真OPNET实用指南》
《移动无线信道》（原书第2版）
《LTE-Advanced：面向IMT-Advanced的3GPP解决方案》
《声学成像技术及工程应用》
《LTE/SAE网络部署实用指南》
《认知无线电通信与组网：原理与应用》
《网络性能分析原理与应用》
《云连接与嵌入式传感系统》
《IP地址管理原理与实践》
《自组织网络：GSM,UMTS和LTE的自规划、自优化和自愈合》
《实现吉比特传输的60GHz无线通信技术》
《LTE自组织网络（SON）：高效的网络管理自动化》
《UMTS中的LTE：向LTE-Advanced演进》（原书第2版）
《UMTS中的WCDMA－HSPA演进及LTE（原书第5版）
《无线传感器及执行器网络》
《认知无线电网络》
《网络融合——服务、应用、传输和运营支撑》
《UMTS中的LTE:基于OFDMA和SC-FDMA的无线接入》
《吉规模集成电路互连工艺及设计》
《高性能微处理器电路设计》

WILEY


机械工业出版社E视界


机械工业出版社微信公众号



上架指导 工业技术／电子技术／信息通信

ISBN 978-7-111-49926-8 定价：79.80元